

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS**

**ESCUELA DE GEOGRAFÍA**

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA GEÓGRAFA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA ESCORRENTÍA EN LA  
CUENCA DEL RÍO PAPALLACTA Y SU INFLUENCIA EN LA  
FUNCIONALIDAD DE LA CUENCA**

**DEYSI ESTEFANÍA MUÑOZ ROSERO**

**Directora: Ing. Jenny Zamora, Mg.**

**QUITO, 2018**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo General: .....	4
1.4.2. Objetivos Específicos: .....	4
1.5. MARCO TEÓRICO .....	5
1.7. MARCO METODOLÓGICO .....	9
1.7.1. Enfoque.....	9
1.7.2. Método.....	9
1.7.4. Herramientas.....	12
1.8. VARIABLES E INDICADORES .....	12
CAPÍTULO II.....	15
2. DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA .....	15
2.1. Selección de la escala de trabajo.....	15
2.2. Delimitación del área de estudio.....	15
2.3. Morfometría de la cuenca .....	17
2.4. Mapas de hidrogeología y escorrentía .....	23
2.4.1. Hidrogeología .....	23
2.4.2. Escorrentía .....	26
2.5. Caracterización biofísica.....	29
2.5.1. Clima .....	30
2.5.2. Geomorfología.....	31
2.5.3. Geología .....	32
2.5.4. Cobertura y uso del suelo .....	33
2.5.5. Recurso Hídrico.....	34
2.6. Caracterización socioeconómica.....	39
2.6.1. Demografía .....	39
2.6.2. Organización territorial.....	40

2.6.3.	Organización social .....	41
2.6.4.	Componente económico .....	42
2.7.	Bienes y servicios Ambientales .....	45
CAPÍTULO III .....		48
3.	ANÁLISIS DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO Y LA PRECIPITACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA .....	48
3.1.	Selección de imágenes satelitales .....	48
3.2.	Preprocesamiento de imágenes satelitales .....	49
3.2.1.	Corrección geométrica.....	50
3.2.2.	Calibración radiométrica .....	50
3.2.3.	Corrección atmosférica.....	50
3.2.4.	Enmascaramiento de nubes .....	51
3.3.	Procesamiento de imágenes satelitales. ....	51
3.3.1.	Delimitar el área de estudio .....	51
3.3.2.	Selección de la leyenda temática .....	51
3.3.3.	Composición de bandas .....	52
3.3.4.	Selección de muestras.....	52
3.3.5.	Clasificación supervisada .....	52
3.3.6.	Validación de la clasificación.....	53
3.3.7.	Tratamiento cartográfico .....	53
3.4.	Mapas de cobertura y uso del suelo .....	54
3.4.1.	Cobertura y uso del suelo .....	54
3.5.	Selección de estaciones y datos de precipitación.....	57
3.5.1.	Red de estaciones meteorológicas cuenca del río Papallacta .....	57
3.5.2.	Estaciones de trabajo .....	58
3.5.3.	Datos de precipitación neta anual.....	59
3.5.4.	Completación de datos de precipitación.....	60
3.6.	Estimación de la escorrentía .....	61
3.6.1.	Cálculo del número de la curva .....	61
3.6.2.	Determinación del volumen de escorrentía .....	65
3.7.	Elaboración de hidrogramas. ....	66
3.8.	Resultados.....	68

3.8.1.	Relleno de pixeles perdidos .....	68
3.8.2.	Corrección radiométrica y atmosférica.....	68
3.8.3.	Enmascaramiento de nubes .....	69
3.8.4.	Composición de bandas .....	70
3.8.5.	Selección de muestras.....	71
3.8.6.	Clasificación supervisada .....	71
3.8.7.	Matriz de confusión .....	72
3.8.8.	Cobertura y uso del suelo .....	75
3.8.9.	Estimación de umbrales de escorrentía y su distribución espacial.....	76
3.8.10.	Caudales máximos e hidrogramas .....	80
3.8.11.	Variación de la escorrentía y uso del suelo en la funcionalidad de la cuenca	81
CAPÍTULO IV .....		83
4. DETERMINACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA MANTENER LA FUNCIONALIDAD DE LA CUENCA .....		83
4.1.	Manejo y gestión de cuencas en el Ecuador .....	83
4.2.	Diagnóstico de la situación .....	84
4.2.1.	Jerarquización de prioridades .....	85
4.2.2.	Priorización de los problemas.....	88
4.3.	Propuestas de actuación .....	89
4.3.1.	Actividades .....	89
4.4.	Planes de acción.....	94
CAPÍTULO V .....		101
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		101
5.1.	Conclusiones.....	101
5.2.	Recomendaciones .....	105
Bibliografía.....		106
Anexos.....		111

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Herramientas marco metodológico.....	12
Tabla 1.2 Variables e Indicadores .....	13
Tabla 2.1 Tabla información cartográfica para delimitar la cuenca de estudio.....	16
Tabla 2.2 Parámetros generales de la cuenca .....	18
Tabla 2.3 Parámetros de forma de la cuenca .....	18
Tabla 2.4 Elevación media de la cuenca.....	20
Tabla 2.5 Información cartográfica para mapa de hidrogeología y uso del suelo.....	24
Tabla 2.6 Información cartográfica mapas: isoyetas, geomorfológico, cobertura y uso del suelo e hídrico.....	29
Tabla 2.7 Concesiones aprovechamiento del agua.....	37
Tabla 2.8 Uso del agua y caudales .....	39
Tabla 2.9 Organización territorial .....	40
Tabla 2.10 Organización social .....	41
Tabla 2.11 Sectores estratégicos.....	43
Tabla 3.1 Selección de imágenes satelitales.....	49
Tabla 3.2 Red de estaciones .....	57
Tabla 3.3 Estaciones de trabajo .....	59
Tabla 3.4 Coeficientes de correlación precipitación .....	60
Tabla 3.5 Cartografía utilizada para el número de curva .....	62
Tabla 3.6 Número de curva en función de Corine Land Cover.....	62
Tabla 3.7 Número de curva 2007 y 2017 .....	65
Tabla 3.8 Datos de entrada para la elaboración de hidrograma CSC .....	66
Tabla 3.9 Composición de bandas .....	70
Tabla 3.10 Puntos de control levantados en campo .....	72
Tabla 3.11 Áreas de cobertura y uso del suelo, años 2007 y 2017.....	75
Tabla 3.12 Umbrales de escorrentía 2007 .....	77
Tabla 3.13 Umbrales de escorrentía 2017 .....	78
Tabla 4.1 Identificación de actores.....	85
Tabla 4.2 Jerarquización problemática de la cuenca del río Papallacta .....	88
Tabla 4.3 Recursos de la cuenca del río Papallacta.....	90
Tabla 4.4 Objetivos y acciones en la cuenca del río Papallacta .....	92
Tabla 4.5 Plan de acción para la mitigación de la contaminación del recurso hídrico.....	94
Tabla 4.6 Plan de acción para el control de la escases estacional del agua.....	96
Tabla 4.7 Plan de acción para el uso adecuado de los recursos naturales .....	97
Tabla 4.8 Plan de acción contra la degradación del suelo.....	98
Tabla 4.9 Plan de acción para el control de la cacería y pérdida de páramos .....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Mapa base de la cuenca.....	17
Figura 2.2 Mapa de elevaciones de la cuenca .....	20
Figura 2.3 Mapa Hidrogeológico .....	24
Figura 2.4 Mapa de permeabilidad y uso del suelo .....	26
Figura 2.5 Tabla de Prevet.....	27
Figura 2.6 Mapa coeficientes de esorrentía .....	28
Figura 2.7 Mapa de isoyetas .....	30
Figura 2.8 Mapa Geomorfológico .....	31
Figura 2.9 Mapa de cobertura y uso del suelo .....	33
Figura 2.10 Mapa hídrico de la cuenca.....	35
Figura 2.11 Proyecto hidroeléctrico Quijos.....	44
Figura 3.1 Tratamiento cartográfico .....	53
Figura 3.2 Flujo de tratamiento de imágenes Landsat.....	54
Figura 3.3 Mapa de cobertura del y uso del suelo, cuenca de río Papallacta 2007 .....	55
Figura 3.4 Mapa de cobertura y uso del suelo, cuenca de río Papallacta 2017 .....	56
Figura 3.5 Mapa red de estaciones meteorológicas.....	58
Figura 3.6 Datos de precipitación neta .....	59
Figura 3.7 Relleno de datos faltantes .....	60
Figura 3.8 Número de curva 2007 .....	63
Figura 3.9 Tabla de atributos del CN, de la cuenca del río Papallacta 2007 .....	63
Figura 3.10 Mapa del número de curva cuenca del río Papallacta 2017 .....	64
Figura 3.11 Tabla de atributos del CN, de la cuenca del río Papallacta 2017 .....	64
Figura 3.12 Configuración programa HECH-HMS .....	67
Figura 3.13 Imagen Landsat 7, 2007, antes y después del relleno de pixeles .....	68
Figura 3.14 Imagen Landsat 7, 2007, antes y después de la corrección radiométrica y atmosférica.....	69
Figura 3.15 Imagen Landsat 8, 2017 antes y después de la corrección radiométrica y atmosférica.....	69
Figura 3.16 3.16 Enmascaramiento de nubes Imagen Landsat 7 y 8. ....	69
Figura 3.17 Selección de muestras imágenes Landsat .....	71
Figura 3.18 Clasificación supervisada por la máxima probabilidad o vecino más cercano	71
Figura 3.19 Matriz de confusión 2007.....	74
Figura 3.20 Matriz de confusión e índice de capa 2017 .....	74
Figura 3.21 3.21. Mapa de umbrales de esorrentía cuenca del río Papallacta 2007 .....	77
Figura 3.22 Mapa de umbrales de esorrentía 2017 .....	77
Figura 3.23 Mapa de variación umbral de esorrentía 2007-2017 .....	79
Figura 3.24 Hidrograma esorrentía 2007 .....	80
Figura 3.25 Hidrograma esorrentía 2017 .....	81
Figura 4.1 Árbol de problemas cuenca del río Papallacta .....	91

## **LISTA DE ACRÓNIMOS**

**ASETUPA:** Asociación de Servidores Turísticos de Papallacta.

**CARE:** Comprehensive Assessment Reporting Evaluation.

**CENIAC:** Centro de Investigaciones Acuícolas.

**CN:** Número de curva

**EPMAPS:** Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento.

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

**FONAG:** Fondo para la protección del Agua.

**GAD:** Gobierno Autónomo Descentralizado.

**IEE:** Instituto Espacial Ecuatoriano.

**INAMHI:** Instituto Nacional Ecuatoriano de Meteorología e Hidrología.

**INECEL:** Instituto Ecuatoriano de Electrificación.

**MAE:** Ministerio del Ambiente del Ecuador.

**MAGAP:** Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

**OCP:** Oleoducto de Crudos Pesados.

**PDOT:** Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.

**PRAA:** Proyecto Regional Andino de Adaptación al Cambio Climático / Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales.

**RGB:** Reed, Green, Blue.

**SCS:** Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

**SIG:** Sistemas de Información Geográfica.

**SNI:** Sistema Nacional de Información.

**UMC:** Unidad mínima cartografiable.

**UTM:** Universal Transversal Mercator.

**USGS:** Servicio Geológico de los Estados Unidos



## LISTA DE SÍMBOLOS

***A***: Área

***Ae***: Área de elevación.

***Aea***: Área de elevación acumulada.

***CN***: Número de curva.

***CT***: Coeficiente de torrencialidad.

***Dd***: Densidad de drenaje.

***Em***: Elevación media.

***Emc***: Elevación media de la cuenca.

***F***: Factor de forma.

***H***: Diferencia de altura máxima y mínima.

***ha***: hectáreas.

***Kc***: Coeficiente de compacidad.

***Km***: coeficiente de masividad.

***km***: Kilómetros.

***L***: Longitud de la cuenca.

***l***: litros.

***m***: metros.

***mm***: Milímetros.

***msnm***: metros sobre el nivel del mar.

***m<sup>3</sup>***: metros cúbicos.

***P***: Precipitación.

***p***: Pendiente del cauce principal.

***Q***: Lluvia efectiva o escorrentía.

***S***: Potencial máximo de retención.

***s***: segundo.

***Tb***: Tiempo de concentración.

***tc***: Tiempo de concentración.

***Tp***: Tiempo al máximo

***UMC***: Unidad mínima cartografiable.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Deysi y Pablo, por su apoyo incondicional durante mi vida universitaria, el esfuerzo y paciencia que me dedicaron a lo largo de mi formación académica.

A mis abuelos Hildita y Rene, por ser como mis padres y estar al pendiente de mí a lo largo de mi carrera como geógrafa, brindándome apoyo y consejos durante toda esta etapa.

A mi hermano Mark por todo el cariño brindado, y sus palabras de apoyo esperando ser un ejemplo para su vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por todas las bendiciones que me dio durante mi vida universitaria, y por ponerme a las personas indicadas en mi camino.

A mi madrecita Deysi, por todo el amor que me brindo durante todos los años, los consejos, el esfuerzo para alcanzar mis metas y proyectos; por estar conmigo dando lucha a las adversidades y hacerme sentir como la hija más dichosa del mundo.

A mi padrecito Pablo, por el ejemplo que me da en cuánto al ámbito profesional de ser una persona correcta y honesta que se desempeña con total entrega al trabajo.

A Hildita, por ser mi segunda madre y haberme inspirado con el esfuerzo, entrega que pone para hacer las cosas, gracias a todo su amor y preocupación con la familia.

A Rene, por estar al pendiente todos los días de mi vida, y preocuparse por todos los problemas y compartir buenos momentos.

A Wilson, por haberme ayudado a levantar la información en campo, su paciencia, amor, y buena voluntad para acompañarme alcanzar mis metas.

A mi amiga Pame, por haber compartido conmigo desde primer semestre los mejores años de nuestra universidad, y haberme apoyado en todos los momentos con su amistad.

A la profe Jenny Zamora, por haber aceptado ser mi directora de tesis, confiado en mi capacidad para realizar mi investigación y brindarme su asesoramiento.

Al profe Armando Echeverría, por su buena disposición para la revisión de la tesis, recomendaciones, y por ser un ejemplo en el ámbito profesional.

A la profe Dinora Hidalgo, por el acompañamiento durante el proceso, por su excelente ayuda y recomendaciones, así como la atención prestada.

## RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad determinar la variación del proceso de escorrentía en la cuenca del río Papallacta en el periodo de años del 2007 al 2017, y su influencia en la funcionalidad de la cuenca. La cuenca del río Papallacta, tiene disponibilidad de agua debido a su ubicación estratégica, ya que al encontrarse en la vertiente oriental del Ecuador, posee un excedente hídrico, por este motivo se han llevado a cabo proyectos que involucran el uso consuntivo y no consuntivo del agua. Características morfométricas de la cuenca, factores biofísicos como la precipitación, cobertura y uso del suelo, y factores socioeconómicos pueden estar interactuando en la cuenca y provocando una variación en el proceso de escorrentía, y a su vez alterando el ciclo hidrológico de la cuenca. El aumento o disminución de la escorrentía, puede influir en la funcionalidad de la cuenca, porque su variación puede generar procesos de contaminación, erosión y sedimentación, que pueden afectar al funcionamiento de la cuenca. Para determinar la variación de escorrentía se usan los Sistemas de Información Geográfica, combinado con el método del número de curva del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, así como también modelamiento hídrico para cálculo de caudales. Los resultados obtenidos demuestran que la variación de la escorrentía se mantiene constante en el 83,09 % de la superficie total de la cuenca, aumento en el 10,59% y disminuyó en el 6,32%. La distribución espacial del aumento de escorrentía esta relacionada con los cambios de cobertura y uso del suelo de tierras pecuarias e incremento de superficie urbanizada. Las actividades que se llevan en estas zonas se pueden ver afectadas debido a que la contaminación del recurso hídrico es el principal problema que aqueja a la cuenca, y un aumento en la escorrentía se considera un factor que contribuye a la movilización y el arrastre de contaminantes. Actualmente la cuenca del río Papallacta no posee un manejo y gestión de cuencas, por lo que se elaboraron estrategias para mantener su funcionalidad y realizar un ejercicio de acercamiento al manejo y gestión de cuencas mediante la participación ciudadana, propuesto por la FAO. Para establecer las estrategias, se trabajó con los actores de la parte alta de la cuenca del río Papallacta, representados por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Papallacta y organizaciones del sector productivo y turístico.

**Palabras clave:** variación de la escorrentía, precipitación, caudales, cobertura y uso del suelo, funcionalidad de la cuenca, estrategias.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 ANTECEDENTES**

La cuenca del río Papallacta, se localiza en la vertiente oriental del Ecuador. Esta cuenca que se caracteriza por tener un excedente hídrico, constituye un sector estratégico, para el diseño de caudales para proyectos hidroeléctricos. La Evaluación Hidrometeorológica y de Sedimentos en la Cuenca del Río Coca, Zona de Influencia del Proyecto Coca Codo Sinclair, constituye un proyecto de investigación impulsado por la Escuela Politécnica Nacional en el 2016, que evalúa la climatología e hidrología del río Coca y su cuenca, para determinar la variación de elementos hidrológicos; la cuenca del río Papallacta forma la cuenca alta del río Coca, resultando en área de estudio del presente proyecto (Horna, 2016).

La Escuela Politécnica Nacional, en el 2005, lleva acabo el Estudio de la Geodinámica actual del río Napo (Amazonía ecuatoriana – peruana), usando datos hidrológicos y de sistemas de navegación localizada, este estudio cuenta con información de la cuenca del Amazonas, siendo la Amazonía ecuatoriana parte importante de la misma y presentando un estudio hidrológico de los afluentes de los ríos del oriente, como el Papallacta, perteneciente a la gran cuenca del río Napo (Cevallos, 2005).

La provisión de agua para Quito, es uno de los servicios que la cuenca del río Papallacta brinda a la población. El Diseño de la Red de Monitoreo Hidrológico en las Microcuencas de los ríos Pita, San Pedro, Papallacta y Antisana, realizado por la Secretaría General de la Comunidad Andina, Ministerio del Ambiente (Ecuador), y el Fondo para la Protección del Agua (FONAG) en el 2011, se realizó con el fin de proporcionar información sobre la caracterización hidrológica de las microcuencas del área de estudio, en base a observaciones de campo, información

hidrometeorológica y cartográfica; y así permitir la resiliencia de las cuencas hidrográficas.

El proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair, comenzaba su emplazamiento en la cuenca del río Coca en el 2008, por tal razón se llevó a cabo la restauración de estaciones meteorológicas e hidrológicas, localizadas en la vertiente oriental del país, y se convirtieron en estaciones más funcionales que permiten la obtención de datos más completos. Con estos antecedentes se cuenta con insumos que contribuyen a la realización de la presente investigación en cuanto a la información hidrometeorológica. Sin embargo, en la presente investigación se busca complementar el estudio de estos procesos naturales relacionándolos con factores biofísicos y socioeconómicos de la cuenca; debido a la importancia de las cuencas hidrográficas como proveedoras de bienes y servicios.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

La cuenca del río Papallacta, constituye una unidad territorial delimitada por una divisoria de aguas, afluente principal y un cauce principal que responde a la dinámica de la misma, constituyéndola un sistema territorial funcional. La cuenca del río Papallacta es importante por la presencia de proyectos, la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), posee un sistema de conducción de agua potable denominado Sistema Papallacta, y una presa denominada Salve Faccha. El sistema Papallacta capta un total de 3.220 *lt/s*, aporta con el 50% de agua potable con costo de 2,5 millones anuales. Actualmente la EPMAPS, se encuentra en ejecución de la primera etapa del proyecto de captación de agua Chalpi Grande, con el fin de incrementar 2.220 *lt/s* al sistema Papallacta y garantizar la demanda de agua en el Distrito Metropolitano de Quito. Por su localización estratégica, se tiene la presencia de hidroeléctricas, que requiere diseño de caudales tales como son: Quijos, Victoria y Coca Codo Sinclair (EPMAPS, 2018).

La realización de esta investigación pretende determinar cómo procesos naturales se relacionan con factores antrópicos; y como estos influyen en la cuenca, y por

ende en los proyectos que se están llevando en la misma; con el fin de establecer estrategias que permitan el mantenimiento de la funcionalidad de la cuenca y acercarnos al manejo y gestión integrado de cuencas mediante la participación efectiva y ciudadana propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), y proporcionar a las autoridades encargadas de la planificación, una visión integradora del manejo de cuencas al momento que se lleva a cabo la planificación en el territorio; dando cumplimiento con los objetivos de desarrollo sostenible de ciudades y comunidades más resilientes.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El río Papallacta nace de la cordillera de los Andes, su cuenca se localiza dentro del Parque Nacional Cayambe Coca y la Reserva Ecológica Antisana, ocupando según la división política administrativa del Ecuador, las parroquias de Papallacta y Cuyuja del cantón Quijos, provincia de Napo.

El río Papallacta mantiene su caudal de las aguas obtenidas de las precipitaciones, deshielos del volcán Antisana, humedales que contribuyen a la recarga de acuíferos y presencia de vertientes y manantiales (agua subterránea).

La cuenca del río Papallacta es un sector estratégico, para la provisión de agua para Quito; presencia de proyectos de generación hidroeléctrica; actividades de agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, explotación de minas y canteras; y turismo.

Los usos que se dan al recurso hídrico en la cuenca, se encuentran influenciados por la variación de escorrentía, determinada por la intensidad de precipitaciones y el cambio del uso de suelo; sin embargo no existe un estudio que relacione este fenómeno natural con la funcionalidad de la cuenca, por este motivo y gracias a la restauración de la red de estaciones hidrometeorológicas antes del 2008 en la vertiente oriental del Ecuador; se ve necesario determinar la variación de la escorrentía con el fin de establecer estrategias para mantener su funcionalidad, frente a los usos del agua y los cambios en el uso del suelo que se dan en ella.



Con estos antecedentes las preguntas de investigación son las siguientes:

¿Cómo se presenta la variación del proceso de escorrentía en la cuenca del río Papallacta desde el 2007 hasta el 2017?

¿Cómo afecta la variación de la escorrentía a la funcionalidad de la cuenca?

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General:**

Determinar la variación del proceso de escorrentía en la cuenca del río Papallacta en función de la precipitación y el cambio del uso del suelo desde el 2007 hasta el 2017, para conocer su influencia en la funcionalidad de la cuenca y establecer estrategias para el manejo de la cuenca.

### **1.4.2. Objetivos Específicos:**

- Delimitar y caracterizar la cuenca del río Papallacta, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica para definir el área de estudio.
- Elaborar un análisis multitemporal del cambio de uso del suelo en la cuenca del río Papallacta, mediante el procesamiento de imágenes satelitales, para determinar la transición del uso del suelo desde el 2007 hasta el 2017.
- Analizar la producción de escorrentía, en función de la precipitación neta, y el cambio del uso del suelo, para determinar su influencia en la funcionalidad de la cuenca.
- Determinar estrategias, para el manejo integral de la cuenca del río Papallacta.

## 1.5. MARCO TEÓRICO

Desde un punto de vista geográfico el tema de la presente investigación se aborda desde la Geografía Humana. La Geografía Humana engloba el estudio de los grupos humanos en sus relaciones con el medio geográfico (Wolff, 2005). Para esta geografía explicar el medio geográfico es más comprensivo que hablar de un medio físico, para la investigación la cuenca del río Papallacta es un medio geográfico, donde desde el enfoque de la Geografía Humana, este medio es el resultado no solo de influencias naturales, sino de otras influencias que contribuyen a formar el medio geográfico, es decir el propio hombre. Tales influencias naturales, para el caso de estudio se les atribuye a las características inherentes de la cuenca relacionada con los factores biofísicos, que le otorgan un comportamiento natural, pero que combinadas con las influencias del hombre, como el aprovechamiento del recurso hídrico para generar servicios y satisfacer las necesidades, han dado lugar al espacio geográfico.

Esta corriente es fundamento para la disertación, porque busca establecer cómo el hombre y el medio natural, se han relacionado para establecer la configuración actual del espacio geográfico, permitiéndonos obtener una visión de todos los factores que interactúan y buscar el equilibrio entre el hombre y el medio natural de la cuenca.

Además la investigación esta abordada bajo los tres principios de la geografía humana, donde la existencia del espacio no es el resultante de factores netamente naturales, el segundo principio trabaja apoyándose en una base territorial, en este caso la cuenca hidrográfica es una unidad territorial delimitada; y el tercer principio, la geografía humana debe ser entendida cronológicamente, y no solo tomar en cuenta el estado actual de las cosas; es decir que el estudio de la cuenca se va a abordar por un periodo de tiempo desde el pasado hasta la actualidad para poder entender y explicar el problema.

Otro de los enfoques que abarca la investigación es la Geografía Regional. La geografía regional cuyo objeto de estudio es lograr una integración, donde los

elementos naturales y sociales estén presentes en todo momento interrelacionados con los diferentes componentes de la naturaleza y la sociedad (Pérez, 1999).

La Geografía automatizada es una perspectiva que, dentro del pensamiento geográfico, esta geografía involucra la aplicación del campo tecnológico con el uso de software en el ámbito cartográfico y geográfico para encontrar soluciones técnicas ante los problemas (Buzai, 1999). Esta perspectiva es el fundamento para en la presente investigación para hacer uso del trabajo digital mediante el uso de softwares que van a permitir el intercambio de información como son el Procesamiento digital de Imágenes Satelitales, y Sistemas de Información Geográfica.

La geomática es una disciplina que integra las geociencias con tecnologías de la información para captura, procesamiento, análisis, interpretación, almacenamiento, modelización, aplicación y difusión de información digital geoespacial o localizada, aplicable en los ámbitos de la ingeniería, el territorio y la sociedad (Arias, 2009). En el presente trabajo se hace uso de esta disciplina con el procesamiento de imágenes satelitales para determinar el cambio de cobertura y uso del suelo, donde su gestión permite mejorar los procesos de generación y disposición a los usuarios.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se centran en el estudio del espacio geográfico basándose en los conceptos de localización, distribución, asociación, interacción y evolución espacial; donde al asociarse con el software permite el tratamiento gráfico y alfanumérico de la información (Buzai, 2013). El uso de los SIG, en el presente trabajo constituye el hilo conductor para poder generar información en cuanto a la situación actual de la cuenca del río Papallacta aplicando los conceptos del estudio del espacio de los SIG.

Para poder entender el proceso de escorrentía, es necesario entender que este ocurre dentro del ciclo del agua. El ciclo hidrológico consiste en un proceso biogeoquímico que estudia la circulación del agua de unos lugares a otros, así como también sus cambios de estado físico (Pidwirny, 2006). Los principales procesos

implicados en el ciclo del agua son: Evaporación, condensación, precipitación, infiltración, escorrentía, circulación subterránea, solidificación y fusión. Estos procesos ocurren como resultado de la interacción del agua con el ecosistema. La escorrentía es el agua que se desliza por la superficie de un terreno y este proceso puede verse influenciado dentro del ciclo hidrológico por la actividad antrópica generando cambios en el sistema (Ayora, 2004). Desde esta perspectiva se puede entender en la cuenca del río Papallacta como la interacción del agua con el ecosistema, genera cambios en los procesos del ciclo hidrológico como la escorrentía.

## **1.6. MARCO CONCEPTUAL**

### **Cuenca hidrográfica**

Constituye el área de terreno donde todas las aguas, resultantes del proceso de precipitación se juntan para formar un solo curso de agua (Chereque, 1978).

### **Caudal líquido**

Volumen de agua que atraviesa la sección transversal de un curso de agua \* por unidad de tiempo; los caudales \* de los cursos de agua se expresan en  $m^3/s$  (AFB, 2016)

### **Escorrentía superficial**

La Escorrentía Superficial o Directa es la precipitación que no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie del terreno por la acción de la gravedad agua (Chereque, 1978).

### **Umbral de escorrentía**

Es la cantidad de precipitación a partir de la cual el terreno no es capaz de infiltrar más agua y ésta fluye sobre la superficie en un flujo difuso (Ferrer, 1991).

### **Modelación hidrológica**

La modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas que se ha extendido por todo el mundo, fundamentalmente en países desarrollados (Boston, 2009).

### **Uso no consuntivo del agua**

Un uso no consuntivo es aquel en el que no existe pérdida de agua, ya que la cantidad que entra es la misma o aproximadamente la misma que termina con el proceso (Castelán, 2003).

### **Uso consuntivo del agua**

Uso consuntivo es aquel en el que por características del proceso existen pérdidas volumétricas de agua, misma que se determina por la diferencia del volumen de una cantidad determinada que se extrae menos una que se descarga (Castelán, 2003).

### **Procesamiento de imágenes satelitales**

El procesamiento de imágenes satelitales es un proceso mediante el cual se lleva a cabo la manipulación numérica de las imágenes y está constituido por etapas de preprocesamiento realce y clasificación con el fin de obtener información de un territorio en específico (Chuvieco, 1992).

### **Cobertura y uso del suelo**

La cobertura y uso del suelo constituyen ambas características que se relacionan estrechamente, en donde la primera condiciona a la segunda (León, 2015). La cobertura es la capa que se observa sobre la superficie y el uso está determinado por las actividades que realiza las personas sobre la cobertura de la tierra (Velázquez, 2002).

### **Diseño de estrategias**

Consiste en un proceso mediante el cual se aplican una serie de técnicas que permiten recolectar información suficiente en cuanto a un problema, para poder establecer lineamientos que permitan combatir el problema acercándose a la

realidad del problema, mediante una serie de actividades (Junta de Andalucía, 2004).

### **Manejo y Gestión integral de la cuenca**

Es un proceso que consiste en la elaboración de planes (manejo de cuencas hidrográficas), que deben ser elaborados tomando en cuenta la tierra y los recursos hídricos como elementos socioeconómicos que repercuten en el desarrollo de los seres humanos, y las prácticas de uso de la tierra en particular (FAO, 2004).

## **1.7. MARCO METODOLÓGICO**

### **1.7.1. Enfoque**

Para la presente investigación la recolección de datos tiene un enfoque mixto tanto los bibliográficos como los de campo donde se requiere información cualitativa y cuantitativa acerca de las características de la cuenca del río Papallacta, en cuanto a parámetros biofísicos, socioeconómicos y morfológicos que me van a permitir elaborar un diagnóstico, para posteriormente con el análisis de la serie de datos hidrometeorológicos y el análisis multitemporal de cambio en el uso de suelo, poder determinar cómo ha variado la esorrentía y su influencia en la funcionalidad de la cuenca.

### **1.7.2. Método**

#### **Analítico.**

El procedimiento que se va a seguir para llevar a cabo para la presente investigación se da mediante los siguientes pasos:

1. Delimitación y caracterización de la cuenca del río Papallacta.
2. Elaboración de un análisis multitemporal del cambio de uso del suelo.
3. Análisis en función de la precipitación y el cambio del uso del suelo la variación de esorrentía.

4. Determinación de estrategias para el manejo integral de la cuenca del río Papallacta.

### **Tipo de investigación.**

La presente investigación es descriptiva porque al responder la pregunta de investigación busca observar y describir el comportamiento de la cuenca del río Papallacta.

### **1.7.3. Metodología**

- ✓ Delimitación y caracterización de la cuenca del río Papallacta.
- ✓ Selección escala de trabajo 1:100.000, debido a que la escala del plano representa el tamaño de los elementos reales en el terreno, en los que ha sido levantada la información cartográfica en el Ecuador.
- ✓ Delimitación de la cuenca, mediante la herramienta Hydrology de ArcGIS con coberturas vectoriales.
- ✓ Cálculo de los parámetros morfométricos.
- ✓ Elaboración de mapas hidrogeológicos y de coeficientes de escurrimiento, usando el Catálogo Nacional de Objetos Geográficos del Consejo Nacional de Geoinformática del Ecuador, escala 1:100.000.
- ✓ Caracterización biofísica y socioeconómica de la cuenca recogida en información secundaria de los planes de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia de Papallacta y Cuyuja.

### **Análisis multitemporal del cambio del uso del suelo.**

- ✓ Selección de imágenes satelitales 2007 Landsat 7 (sensor ETM+).
- ✓ Selección de imagen satelital Landsat 8 (sensor OLI) para el 2017.
- ✓ Preprocesamiento de imágenes satelitales: corrección de píxeles vacíos, radiancia, corrección atmosférica y máscara de nubes.
- ✓ Selección de la leyenda temática.
- ✓ Selección de combinaciones RGB, para interpretación de elementos de cobertura y uso del suelo.
- ✓ Clasificación supervisada de la imagen por máxima probabilidad de cercanía.

- ✓ Validación con matriz de confusión y puntos de control en campo.
- ✓ Se realiza un análisis multitemporal de cambios, en donde se presentan las transiciones que se producen entre los periodos 2007 y 2017, lo que permite observar, no sólo las zonas de cambio sino también comparar la cobertura del suelo hace diez años y la actual.
- ✓ Las imágenes clasificadas son vectorizadas para obtener polígonos en ArcMap que permitan calcular las diferentes áreas para cada tipo de uso del suelo.

**Análisis en función de la precipitación y cambio del uso de suelo la variación de la escorrentía.**

- ✓ Clasificación y selección de estaciones y datos de las estaciones hidrometeorológicas: M188 Papallacta (ordinaria), M436 Cuyuja (pluviométrica), y HA44 Papallacta AJ, Victoria (limnimétrica). Los datos son precipitaciones netas y caudales. Período de años 2007-2017.
- ✓ Completar la serie de datos faltantes para la variable precipitación neta mediante la ecuación del coeficiente de correlación lineal.
- ✓ Determinar el umbral de escorrentía con el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS).
- ✓ Para el análisis de datos se deben realizar modelamientos hídricos con la herramienta HEC HMS 4.3, y obtener el caudal de la cuenca del río Papallacta para los dos periodos de año.
- ✓ Análisis de los mapas de cambio de uso del suelo.
- ✓ Determinación de la influencia de la precipitación y el cambio del uso del suelo en la variación de escorrentía, usando los hidrogramas y los mapas del uso del suelo.

**Determinación de estrategias para el manejo integral de la cuenca del río Papallacta.**

- ✓ Diagnóstico del manejo y gestión de cuencas en el Ecuador.
- ✓ Revisión de la propuesta de manejo y gestión de cuencas por la FAO.
- ✓ Evaluación y análisis de los problemas, mediante una jerarquización de las prioridades de uso del recurso hídrico para la cuenca y determinar los objetivos.



- ✓ Identificación de soluciones a través de líneas y propuestas de actuación, mediante entrevistas de las partes interesadas.
- ✓ Elaboración de planes de acción para el cambio en base al análisis causa y efecto de los problemas que se priorizaron en la cuenca del Papallacta, se establece que se debe hacer y quien debe hacerlo.

#### 1.7.4. Herramientas

Para poder recoger los datos de la presente investigación y poder generar información se requiere el uso de un conjunto de herramientas que permiten seguir la metodología propuesta como: hardware, software y datos geográficos como se ve en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Herramientas marco metodológico

Sistemas de Información Geográfica	
Integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión.	
Hardware	Computadora, laptop
Software	ARCGIS 10.3, HEC HMS 4.3, ENVI 5.3
Datos Geográficos	Mapas, imágenes satelitales, anuarios hidrometeorológicos, puntos de control en campo.

#### 1.8. VARIABLES E INDICADORES

En la tabla 1.2, se presentan las variables, dimensiones, indicadores y herramientas de la presente investigación que permiten caracterizar los elementos biofísicos de la cuenca del río Papallacta y determinar si los mismos han experimentado cambios.

Tabla 1.2 Variables e Indicadores

Variable	Dimensión	Indicador	Herramienta
Agua	Morfometría	Área: $km^2$	Fórmulas Factor de forma Densidad de drenaje Cálculos Morfométricos.
		Perímetro: $km$	
		Longitud cauce principal: $km$	
		Drenaje: $km/km^2$	
		Forma: Alargada Ancha Muy alargada	
	Hidrometría	Caudal líquido $m^3 * \text{año}$	Anuarios publicados por el INAMHI y el FONAG
		Escorrentía superficial $m^3 / s$	
Clima	Meteorología	Precipitación Neta	Series de datos temporales, estaciones hidrometeorológicas
	Geopedología	Textura: Arena Arcilla Limo	El mapa de suelos utilizado es de escala 1:50.000 del proyecto “Generación de Información Georeferenciada para el Desarrollo Sustentable del Sector Agropecuario” (MAG, IICA, & CLIRSEN, 2012)

<b>Suelo</b>	Cambio del uso del suelo	Imágenes satelitales RGB Bandas 5,6,4 % de transición de cambio del uso del suelo.	Landsat 8 (sensor OLI) y Landsat 7 (sensor ETM+).
	Hidrogeología	Permeabilidad Porosidad	Mapa hidrogeológico del Ecuador MAGAP 2015, escala 1:100.000
	Cobertura y uso del suelo	Agropecuario Conservación y protección Cuerpo de agua Agropecuario Forestal	Mapa de cobertura y uso de la tierra, MAGAP 2014, escala 1:100.000.
<b>Relieve</b>	Modelo digital de elevación	Delineación de cuencas	“Modelo Digital de Elevaciones” (DEM), resolución de 30 m. SNI
		Pendientes	

## CAPÍTULO II

### DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

#### 2.1. Selección de la escala de trabajo

La escala de trabajo para la presente investigación es de 1:100.000, es decir que 1 *cm* en el mapa equivale a 100 *cm* en el terreno. Se trabaja a una escala de 1:100.000 y se calcula la Unidad Mínima Cartografiable (UMC) para todos los mapas:

$$1: 100.000$$

$$1 \text{ mm} = 100.000 \text{ mm}$$

$$1 \text{ mm} = 100 \text{ m}$$

$$4 \text{ mm} = 400 \text{ m}$$

$$UMC = 400 \text{ m} \times 400 \text{ m}$$

$$UMC = 160.000 \text{ m}^2$$

$$UMC = \mathbf{16 \text{ ha}}$$

#### 2.2. Delimitación del área de estudio

Para delimitar la cuenca del río Papallacta, se requiere el uso de información cartográfica presente en la tabla 2.1 y del software ArcGIS, para poder tratar la información.

Tabla 2.1 Tabla información cartográfica para delimitar la cuenca de estudio

<b>Información cartográfica</b>	<b>Formato</b>	<b>Escala</b>	<b>Fuente</b>
<b>Modelo digital de elevación, resolución 30 m.</b>	Raster	1:100.000	SNI

### **Procedimiento.**

- Para delimitar la cuenca se corta el modelo digital de elevación proyectado, en las parroquias de Papallacta y Cuyuja, con la herramienta de extracción por máscara del Spatial Analyst de ArcGIS.
- Para eliminar las imperfecciones del raster debido a los errores en la resolución, utilizo la herramienta fill del Hydrology de ArcGis, que permite rellenar los sumideros y picos, para obtener una red de drenaje continua.
- Se requiere determinar la dirección del flujo de agua de cada celda del raster, para ello se utiliza la herramienta flow direction de Hydrology.
- Para poder identificar red de arroyos dentro de una cuenca, se requiere calcular el flujo de acumulación de cada celda con la herramienta flow accumulation de Hydrology.
- Con la herramienta basin de Hydrology, se crea un raster que delinea todas las cuencas hidrográficas, después convierto el archivo raster a vector con la herramienta Conversión Tools y se extrae la cuenca del río Papallacta.
- Una vez obtenida la cuenca se calcula la red de drenaje con la herramienta raster calculator donde se calcula los flujos de acumulación mayores a 30m por la resolución del raster, obteniendo la red de drenaje.

La cuenca del río Papallacta, como se observa en la figura 2.1, se localiza en la vertiente oriental del Ecuador, nace de la cordillera de los Andes, su cuenca se localiza dentro del Parque Nacional Cayambe Coca y la Reserva Ecológica Antisana, ocupando según la división política administrativa del Ecuador, las parroquias de Papallacta y Cuyuja del cantón Quijos, provincia de Napo.

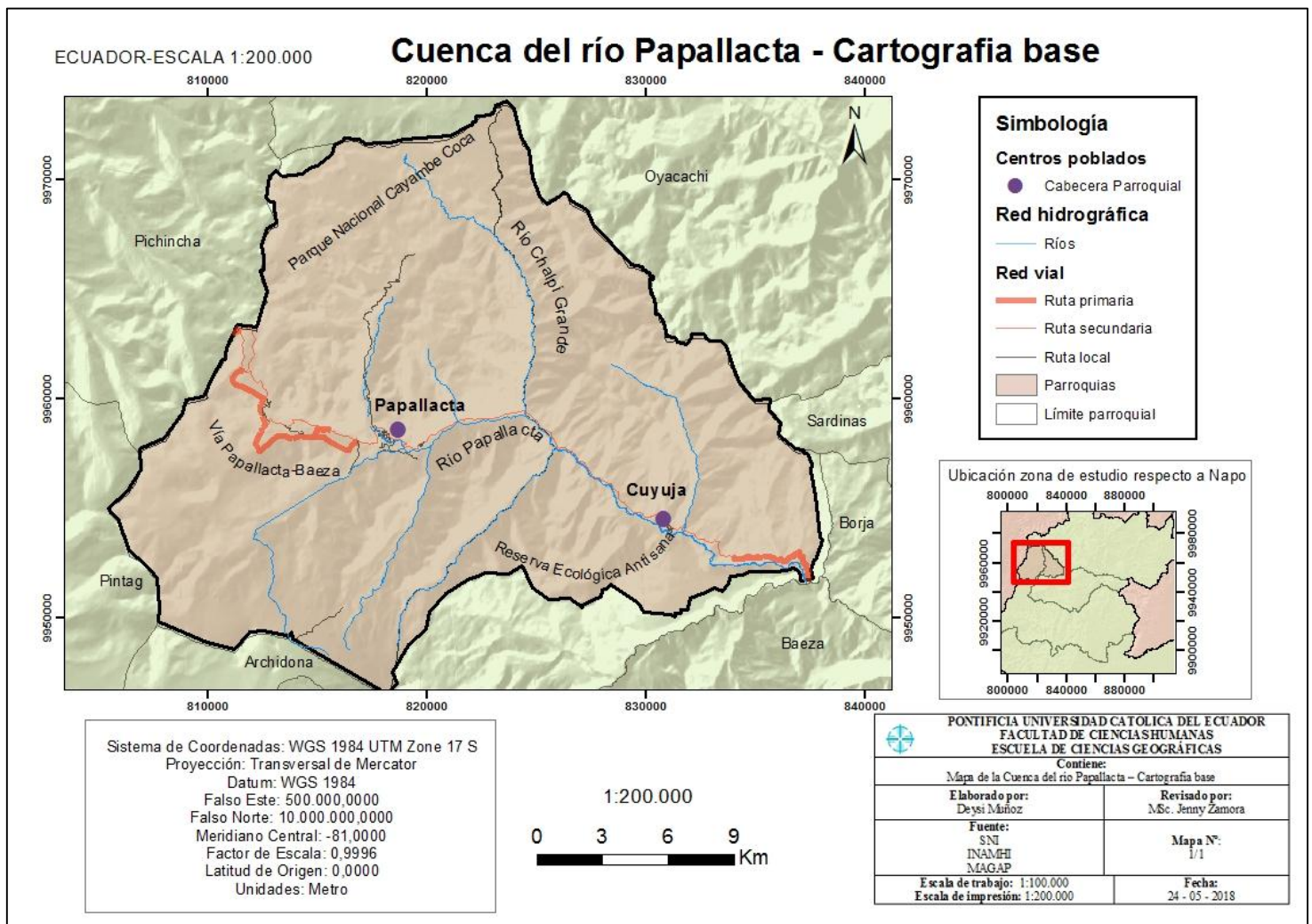


Figura 2.1 Mapa base de la cuenca

### 2.3. Morfometría de la cuenca

Los datos morfométricos nos permiten obtener una visión del comportamiento normal de la cuenca en cuanto a los procesos hidrológicos. Para determinar el significado de los resultados de los parámetros morfométricos se utilizan las tablas de Fuentes Junco José en su trabajo Análisis morfométrico de cuencas: estudio de

caso del Parque Nacional Picote Tancitaro 2004 (ver anexo 1). El cálculo de los parámetros generales como área y perímetro se presentan en la tabla 2.2, mientras que los coeficientes que determinan la forma de la cuenca en la tabla 2.3.

Tabla 2.2 Parámetros generales de la cuenca

Parámetros generales		
Morfometría	Valores	Significado morfométrico
Área	501,34 km <sup>2</sup>	Cuenca de tamaño mediano.
Perímetro	109,26 km	

Tabla 2.3 Parámetros de forma de la cuenca

Parámetros de forma		
Morfometría	Valores	Significado morfométrico
Longitud de la cuenca	$L = 50,51 \text{ km}$	
Factor de forma	$F = \frac{A}{L^2}$ $F = \frac{501,34 \text{ km}^2}{50,51 \text{ km}}$ $F = 0,19$	Ligeramente achatada, sujeta a crecientes. Este factor influye en el de concentración de caudal.
Coficiente de compacidad	$Kc = \frac{0,28 * P}{\sqrt{A}}$	De oval redonda a oval oblonga, indica que la concentración de volumen

	$Kc = \frac{0,28 * 109,26 \text{ km}}{\sqrt{501,34 \text{ km}^2}}$ $Kc = 1,36$	de agua es moderada.
Coeficiente de alargamiento	$Kc = \frac{\text{Longitud máxima de la cuenca}}{\text{Ancho máximo de la cuenca}}$ $Kc = \frac{30.805 \text{ km}}{32.522 \text{ km}}$ $Kc = 0.95$	Cuenca poco alargada

### Parámetros de relieve

#### ✓ Altura media de la cuenca

En la cuenca del río Papallacta los valores de las elevaciones de la cuenca fluctúan desde los 2.041 m hasta los 5.713 m de altura sobre el nivel del mar. Como se observa en la figura 2.2, las elevaciones de 2.041 hasta 3.415 msnm, se localizan en las llanuras aluviales de los ríos principales que constituyen la cuenca como el Papallacta, Blanco y Chalpi; las elevaciones de 3.415 hasta 4.174 msnm se ubican en las perillanuras y las mayores a 4.174 msnm se encuentran cubiertas por el ecosistema de páramos y constituyen la Reserva ecológica Antisana y el Parque Nacional Cayambe Coca.



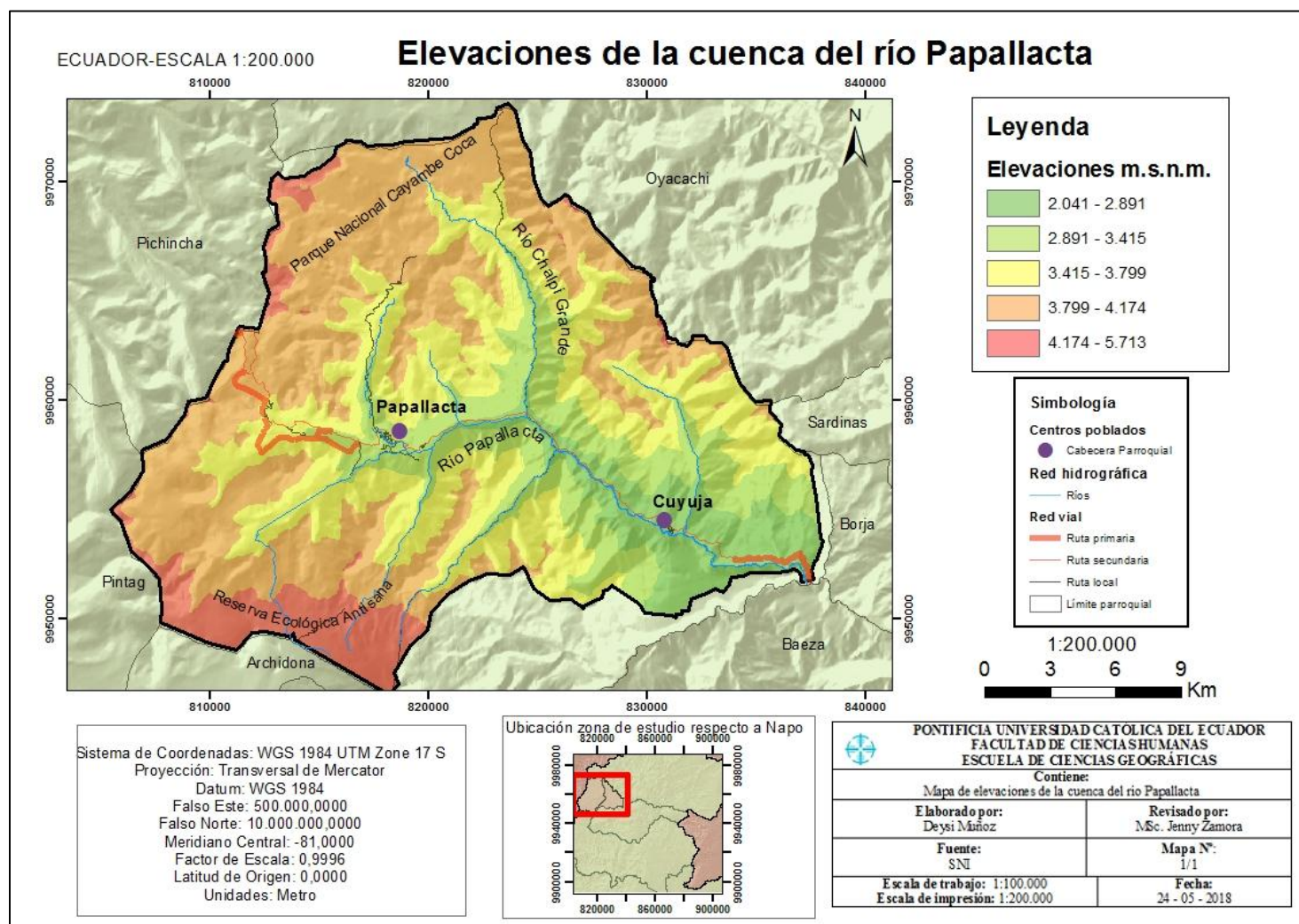


Figura 2.2 Mapa de elevaciones de la cuenca

Tabla 2.4 Elevación media de la cuenca

Elevación <i>msnm</i>	Elevación media <i>msnm</i> <i>Em</i>	Área elevación <i>Km²</i> <i>Ae</i>	% Área de elevación	% Área de elevación acumulado <i>Aea</i>	EM %* <i>Aea</i>
<b>2.041 - 2.891</b>	2.466	45,38	9,05	9,05	22.317,3
<b>2.891 - 3.415</b>	3.153	76,02	16,16	25,21	79.487,13
<b>3.415 - 3.799</b>	3.607	147,12	29,32	54,53	196.689,71
<b>3.799 - 4.174</b>	3.987	192,66	38,42	92,95	370.591,65
<b>4.174 - 5.713</b>	4.944	40,15	8,01	100,96	499.146,24
		<b>501,34</b>			<b>1.168.232,03</b>

$$Emc = \frac{\Sigma Em * Ae}{Ae}$$

$$Emc = \frac{1.168.232,03}{501,34}$$

$$Emc = 2.330,21$$

De acuerdo a los cálculos realizados en la tabla 2.4, la altura media de la cuenca del río Papallacta corresponde a 2.330,21 *msnm* corresponde a un índice de la velocidad media de la escorrentía y, por lo tanto, de su poder de arrastre o poder erosivo.

✓ **Coefficiente de masividad**

$$Km = \frac{\text{Altura media de la cuenca}}{\text{Área de la cuenca}}$$

$$Km = \frac{2.330,21}{501,34}$$

$$Km = 4,64$$

Este coeficiente representa la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie. (Fuentes Junco, 2004). Este valor indica que la cuenca del río Papallacta es muy montañosa.

✓ **Longitud del cauce principal**

Para medir el cauce principal se toma en cuenta la parte más alta de la cuenca hasta la salida, se utiliza la herramienta flow length del Hydrology dando como resultado una longitud de **13,64 km**, lo que representa un cauce largo.

✓ **Pendiente del cauce principal**

$$p = \frac{h_{\text{máxima}} - h_{\text{mínima}}}{\text{Longitud del cauce}} * 100$$

$$p = \frac{5,17 \text{ km} - 2,04 \text{ km}}{13,64 \text{ km}} * 100$$

$$p = 0,23 * 100$$

$$p = 23\%$$

El cauce principal de la cuenca corresponde a una pendiente moderadamente empinada.

#### ✓ **Densidad de drenaje**

$$Dd = \frac{\text{Longitud de toda la red de drenaje}}{\text{Área de la cuenca}}$$

$$Dd = \frac{733,57 \text{ km}}{501,34 \text{ km}^2}$$

$$Dd = 1,46$$

La densidad de drenaje para la cuenca del río Papallacta es baja, por lo que el tiempo de concentración de caudal es mayor por consiguiente tiene menor capacidad de producción de caudal superficial por parte de la cuenca.

#### ✓ **Número de escurrimientos**

Es la cantidad de afluentes naturales de la cuenca. Se contabiliza mediante SIG. La cuenca del Papallacta tiene 892 escurrimientos lo que le permite un mejor drenaje.

#### ✓ **Coefficiente de torrencialidad**

$$CT = \frac{\text{Número de cauces de orden 1}}{\text{área de la cuenca}}$$

$$CT = \frac{667}{501,34 \text{ km}^2}$$

$$CT = 1.33$$

En la cuenca del río Papallacta el número de cauces es mayor al área, lo que indica que la torrencialidad es alta, es decir que el agua recorre muy poco para dirigirse a los cauces y su velocidad de descarga es mayor.

## **2.4. Mapas de hidrogeología y esorrentía**

### **2.4.1. Hidrogeología**

En la cuenca de río Papallacta la hidrogeología resulta un factor físico importante, donde la influencia de las propiedades de permeabilidad y porosidad en los suelos dan origen a la formación de acuíferos, vertientes y manantiales es decir agua subterránea y a su vez estas formaciones permiten el mantenimiento del caudal de los ríos presentes en la cuenca contribuyendo a que la misma pueda brindar disponibilidad de agua para las distintas actividades antrópicas.

Una vez determinada la hidrogeología de la zona se requiere conocer el uso del suelo que se da en la cuenca del Papallacta, para poder identificar la influencia de los usos del suelo sobre la hidrogeología y determinar si estos usos afectan a la formación de aguas subterráneas y a su vez a la disponibilidad de agua que puede presentar la cuenca. Para obtener la información se requiere cruzar las variables hidrogeológicas y de uso del suelo mediante el uso de cartografía presente en la tabla 2.5, para así determinar el uso del suelo que se da en aquellos con alta permeabilidad y porosidad.

Tabla 2.5 Información cartográfica para mapa de hidrogeología y uso del suelo

<b>Información cartográfica</b>	<b>Formato</b>	<b>Escala</b>	<b>Fuente</b>
<b>Hidrogeológico</b>	Vector	1:100.000	Sistema Nacional de Información SNI
<b>Cobertura y uso del suelo Ecuador Continental</b>	Vector	1:250.000	Ministerio de Agricultura y Ganadería MAGAP

Como se observa en la figura 2.3 la cuenca del río Papallacta posee zonas con permeabilidad media, de media alta y muy alta, estas zonas ocupan alrededor de 7.765,21 ha y representan el 15,65 % de la superficie de la cuenca. Estos sitios se caracterizan por tener una porosidad intergranular, aparte de tener una buena permeabilidad. En el aspecto litológico están constituidos principalmente por depósitos aluviales, coluviales, fluvio-glaciares, terrazas aluviales, y conos de deyección; que constituyen factores físicos para la formación de acuíferos. La mayor parte de la superficie de la cuenca corresponde a suelos poco permeables y totalmente impermeables, caracterizados por fisuraciones en la roca y una litología compuesta por esquistos, gneis, filita, cuarcita, lava piroclástica y flujos de lava, que impiden crear las condiciones adecuadas para la formación de agua

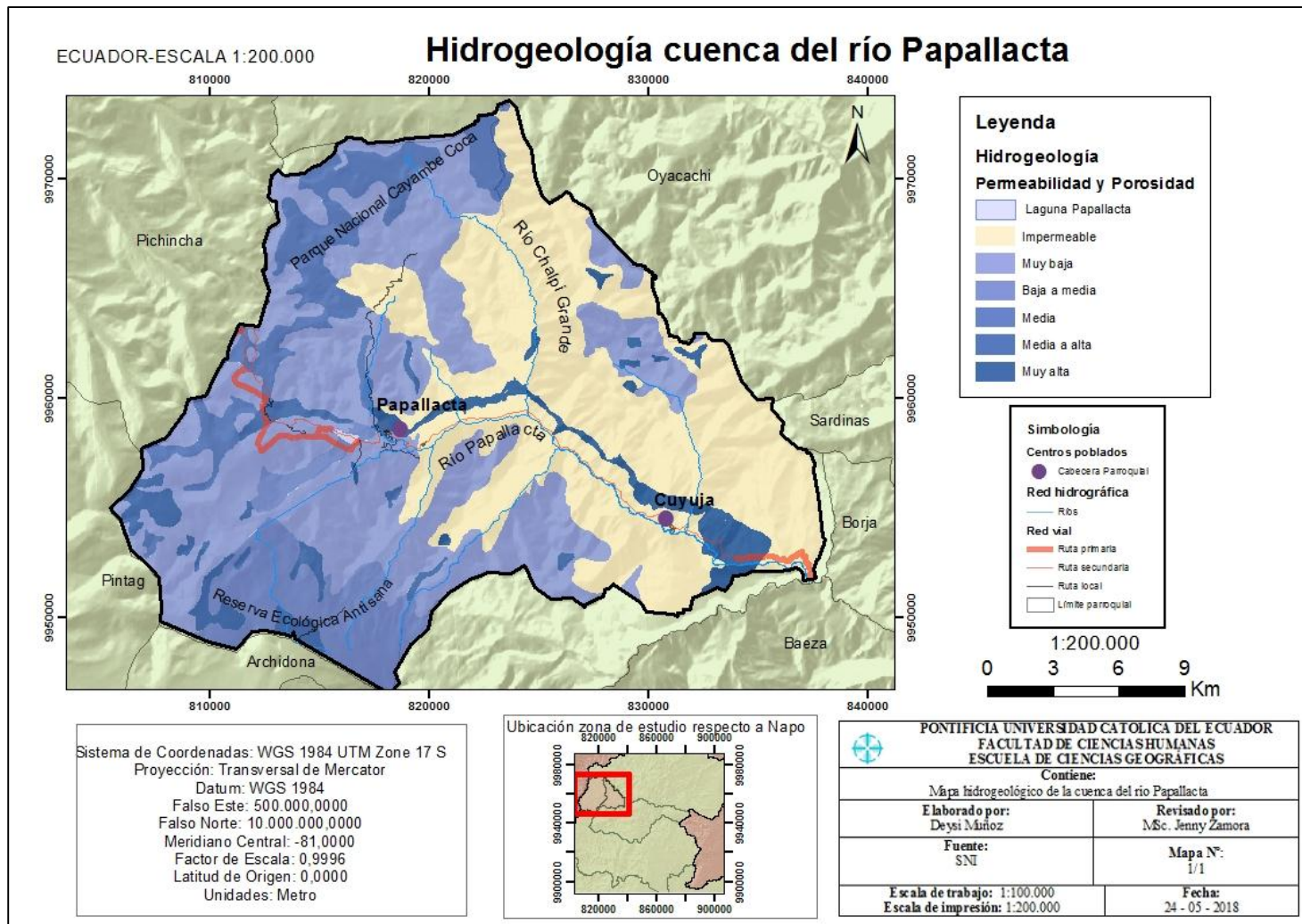


Figura 2.3 Mapa Hidrogeológico

En la figura 2.4 se puede observar el tipo de permeabilidad y porosidad del suelo para cada tipo de uso que se le da, los suelos con permeabilidad alta ocupan una superficie de 1.792 ha y los usos que se le da son pecuario, agropecuario, y conservación y protección. El uso de conservación y protección en estos suelos ocupa un 46%, el uso pecuario de conservación y protección ocupa un 48%; sin embargo, se debe tomar en cuenta que la actividad pecuaria dedicada a la cría de animales puede contribuir a que estos sitios donde se acumula agua subterránea se vean contaminados debido a las descargas de efluentes procedentes de ganado. La actividad agrícola puede también afectar estos suelos debido a la lixiviación e infiltración de agroquímicos que son utilizados para las tareas de agricultura. Al combinar el mapa de hidrogeología con el de elevaciones obtenemos como resultado de los suelos permeables aparecen en elevaciones de 3.450 msnm, lo que se debe tomar en cuenta para destinar el uso de suelo a conservación y protección.



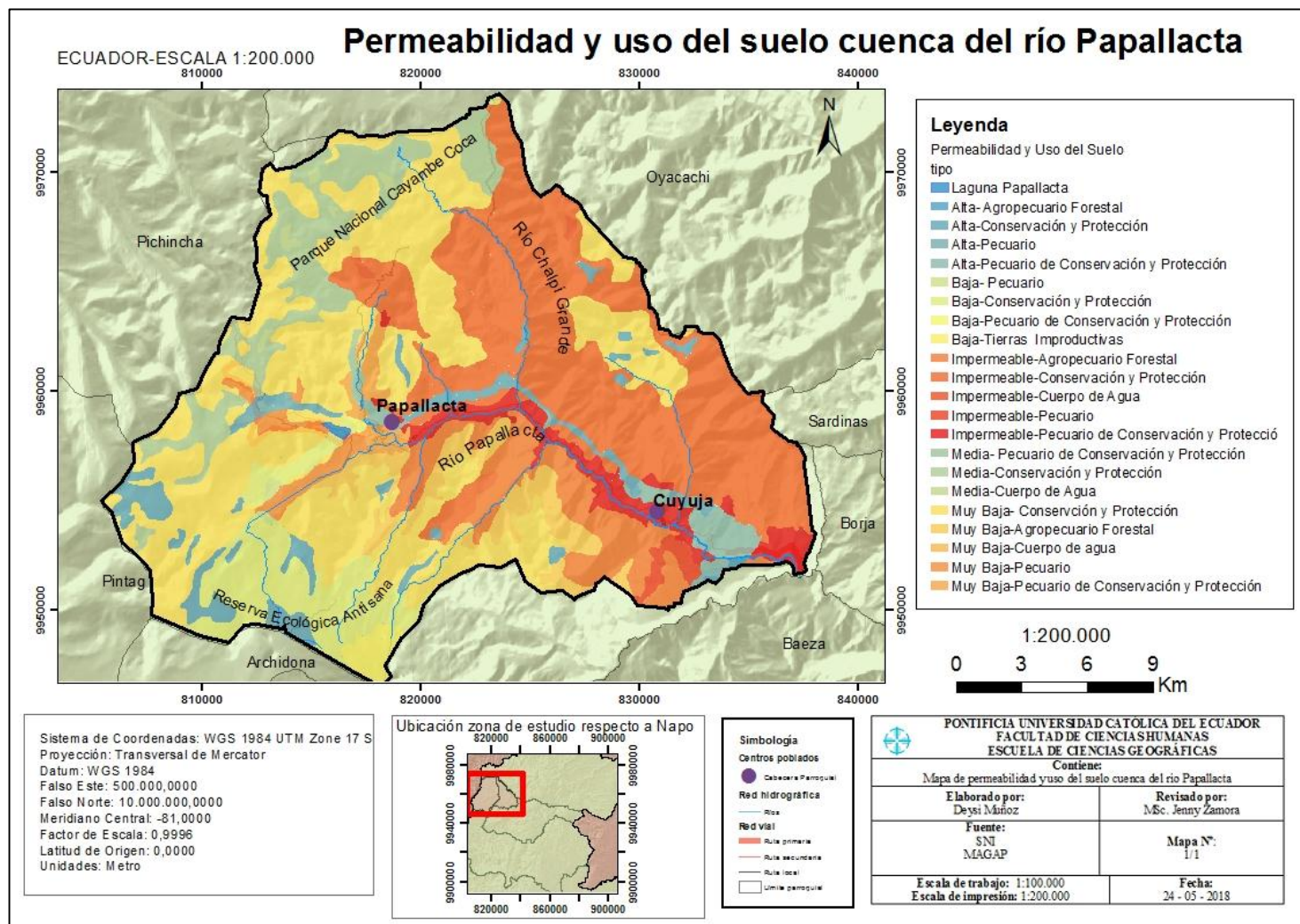


Figura 2.4 Mapa de permeabilidad y uso del suelo

## 2.4.2. Escorrentía

La escorrentía es un proceso que ocurre en el ciclo del agua y constituye todo el volumen del agua que circula por la superficie de un cauce; es decir el agua sobrante del proceso de infiltración. La escorrentía se puede calcular mediante la medida de aforos de los caudales en las estaciones hidrológicas y por coeficientes; para ambos casos la escorrentía está determinada por factores meteorológicos, hidrológicos, geográficos y biológicos. El coeficiente de escorrentía es una medida que nos permite tener una idea de cómo escurre el agua en un determinado terreno y para el cálculo se debe conocer características específicas del terreno. La determinación del coeficiente de escorrentía se realiza con ayuda de tablas o ecuaciones empíricas, siendo las más utilizadas, en cuanto a tablas, las de Prevert como se observa en la figura 2.5; quien toma en cuenta el uso del suelo, la pendiente y la textura del suelo

para determinar el coeficiente; además de que no se cuenta con información disponible en cuanto a la precipitación efectiva de una cuenca.

Uso del suelo	Pendiente (%)	Textura del suelo		
		Arenoso – limoso Limoso - arenoso	Limoso Limoso - arenoso	Arcilloso
Bosque	0 – 5	0.10	0.30	0.40
	5 – 10	0.25	0.35	0.50
	10 – 30	0.30	0.40	0.60
	>30	0.32	0.42	0.63
Pastizal	0 – 5	0.15	0.35	0.45
	5 – 10	0.30	0.40	0.55
	10 – 30	0.35	0.45	0.65
	>30	0.37	0.47	0.68
Cultivo agrícola	0 – 5	0.30	0.50	0.60
	5 – 10	0.40	0.66	0.70
	10 – 30	0.50	0.70	0.80
	>30	0.53	0.74	0.84

Figura 2.5 Tabla de Prevert

➤ **Coeficiente de escorrentía de la cuenca**

Como se observa en la figura 2.6, la cuenca del río Papallacta según la tabla de Prevert presenta en el 10% de su superficie un coeficiente de escorrentía de 0,45 que corresponde a suelos donde el uso es pecuario formado por pastos naturales y cultivados, presentan una pendiente de 0-30% y la textura del suelo va suelos limosos a suelos arcillosos.

El coeficiente de escorrentía de 0,47 es el que le sigue en superficie al anterior, este suelo tiene un uso pecuario, formado por pastos y con texturas del suelo limosas a limosas-arenosas, se encuentran en pendientes mayores al 30%.

Los suelos de conservación y protección formados por bosques, con textura del suelo limoso a limoso-arenoso y pendientes mayores a 30%, tienen un coeficiente de escorrentía de 0,42.

El coeficiente de 0,40, se hace presente en suelos formados por bosques, pastos y cultivos, en pendientes de 0-30%, y con texturas de suelo de tipo arenoso, limoso y arcilloso.



Los suelos formados por bosques y pastizales con pendientes de 0-30% y texturas de suelo que van desde los arenosos a limosos, tienen un coeficiente de escorrentía del 0,35.

Suelos en pendientes de 0-30%, tienen un coeficiente de escorrentía de 0,30, con suelos arenosos y limosos, el uso del suelo es de bosques, pastizales y cultivos.

Las pendientes mayores a 30%, cubiertas por bosques y con suelos de textura arenosa presentan en la cuenca un coeficiente de 0,32; mientras que los bosques con textura arenosa, pero con pendientes de 5-10%, tienen un coeficiente de 0,25.

El coeficiente de 0,50 y 0,60 se presenta en suelos arcillosos con uso de suelo de cultivos y bosques con pendientes de 0-30%

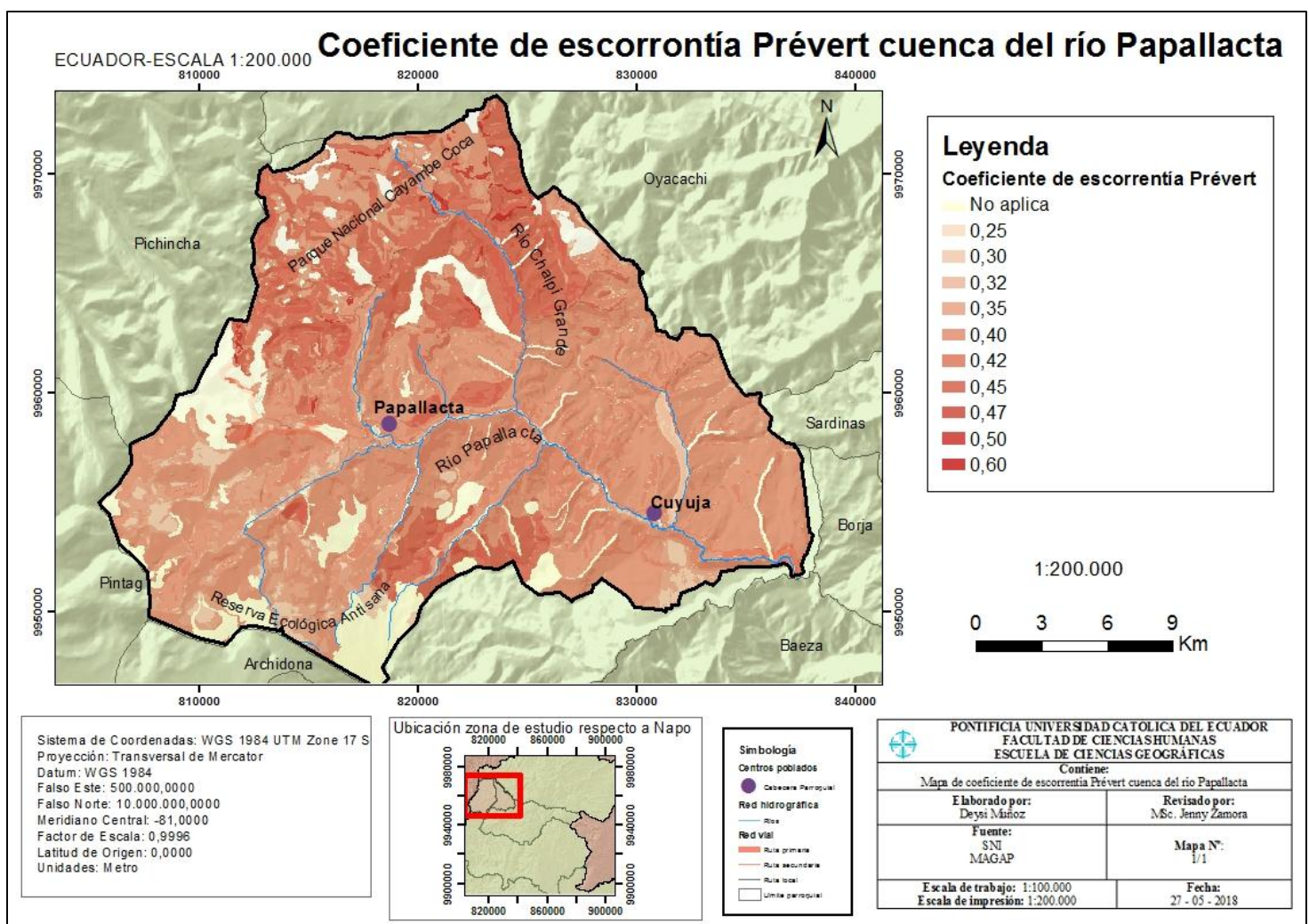


Figura 2.6 Mapa coeficientes de escorrentía

## 2.5. Caracterización biofísica

Para la caracterización biofísica de la cuenca del río Papallacta se requiere información cartográfica presente en la tabla 2.6, que permite elaborar el diagnóstico de los factores biofísicos presentes en la cuenca.

Tabla 2.6 Información cartográfica mapas: isoyetas, geomorfológico, cobertura y uso del suelo e hídrico

<b>Información cartográfica</b>	<b>Formato</b>	<b>Escala</b>	<b>Fuente</b>
<b>Isoyetas</b>	Vector	1:100.000	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)
<b>Geomorfológico</b>	Vector	1:250.000	Sistema Nacional de Información (SIN)
<b>Cobertura y uso del suelo Ecuador Continental</b>	Vector	1:250.000	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP)
<b>Modelo Digital de elevación, resolución 30m</b>	Raster	1:100.000	SNI

## 2.5.1. Clima

### ➤ Temperatura

La temperatura en la cuenca del río Papallacta tiene un promedio de 10°C. La temperatura oscila desde los <2°C en las zonas nivales como los arenales y glaciares del volcán Antisana hasta los 12°C, en zonas bajas de bosques montanos y de neblina (PDOT, 2015).

### ➤ Precipitación

La precipitación media anual de la cuenca es de 1.320 mm. La precipitación oscila desde los 1.100 a 1.400 mm en la zona del Parque Nacional Cayambe Coca, 1.400 a 2.000 mm en la parroquia Papallacta y Reserva Ecológica Antisana, y de 2.000 a 3.000 mm en el sector de Cuyuja.

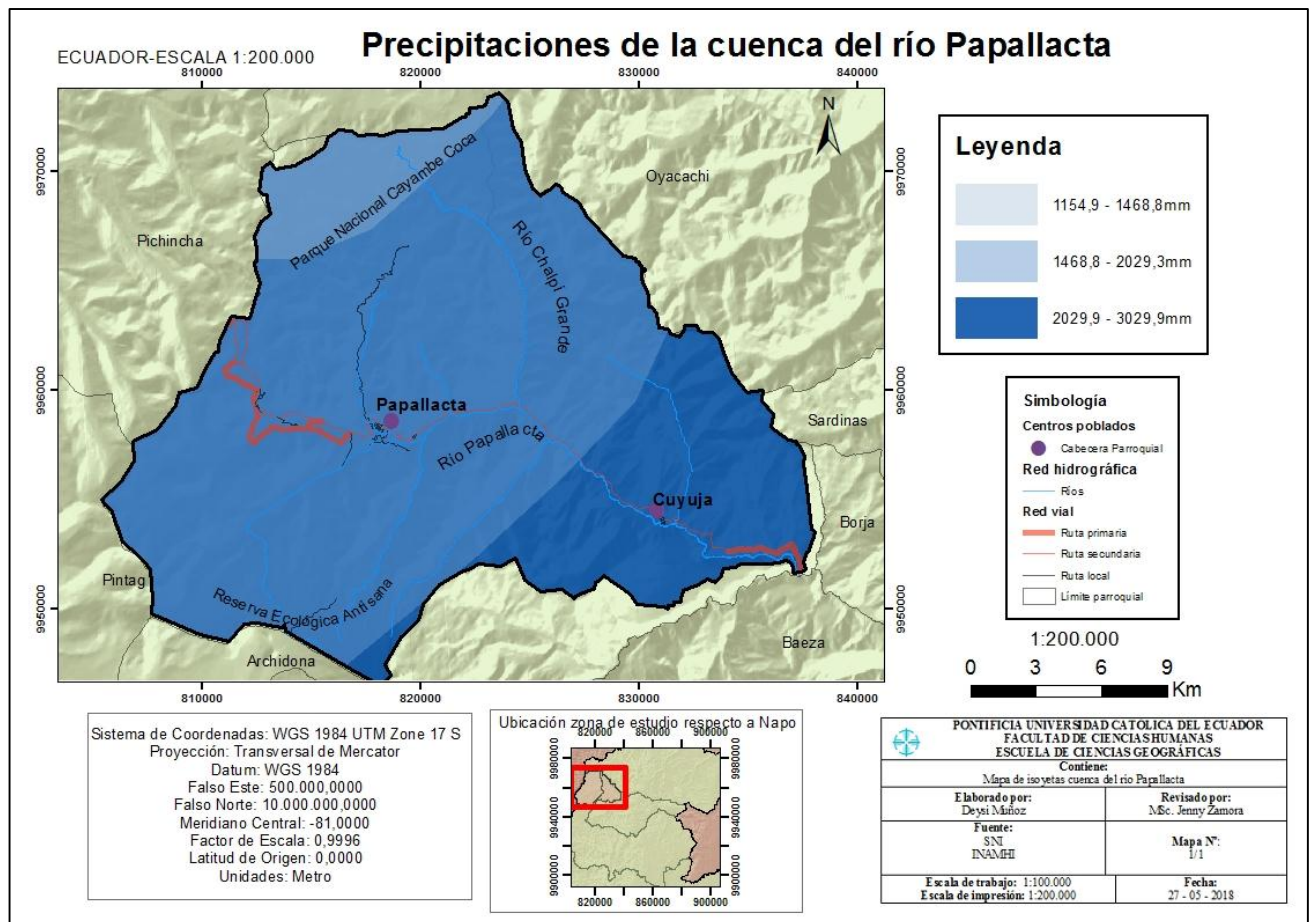


Figura 2.7 Mapa de isoyetas



Los meses más lluviosos son mayo junio, julio agosto y septiembre (PDOT, 2015). La distribución espacial de las precipitaciones en la cuenca alta, media y baja se observa en la figura 2. 7, donde la mayor superficie de la cuenca presenta precipitaciones que oscilan entre 1.468,8 mm y 2.029,3 mm.

## 2.5.2. Geomorfología

La cuenca del Papallacta se encuentra influenciada por geoformas determinadas por glaciaciones y erupciones volcánicas, en la figura 2.8 se observa las geoformas presentes.

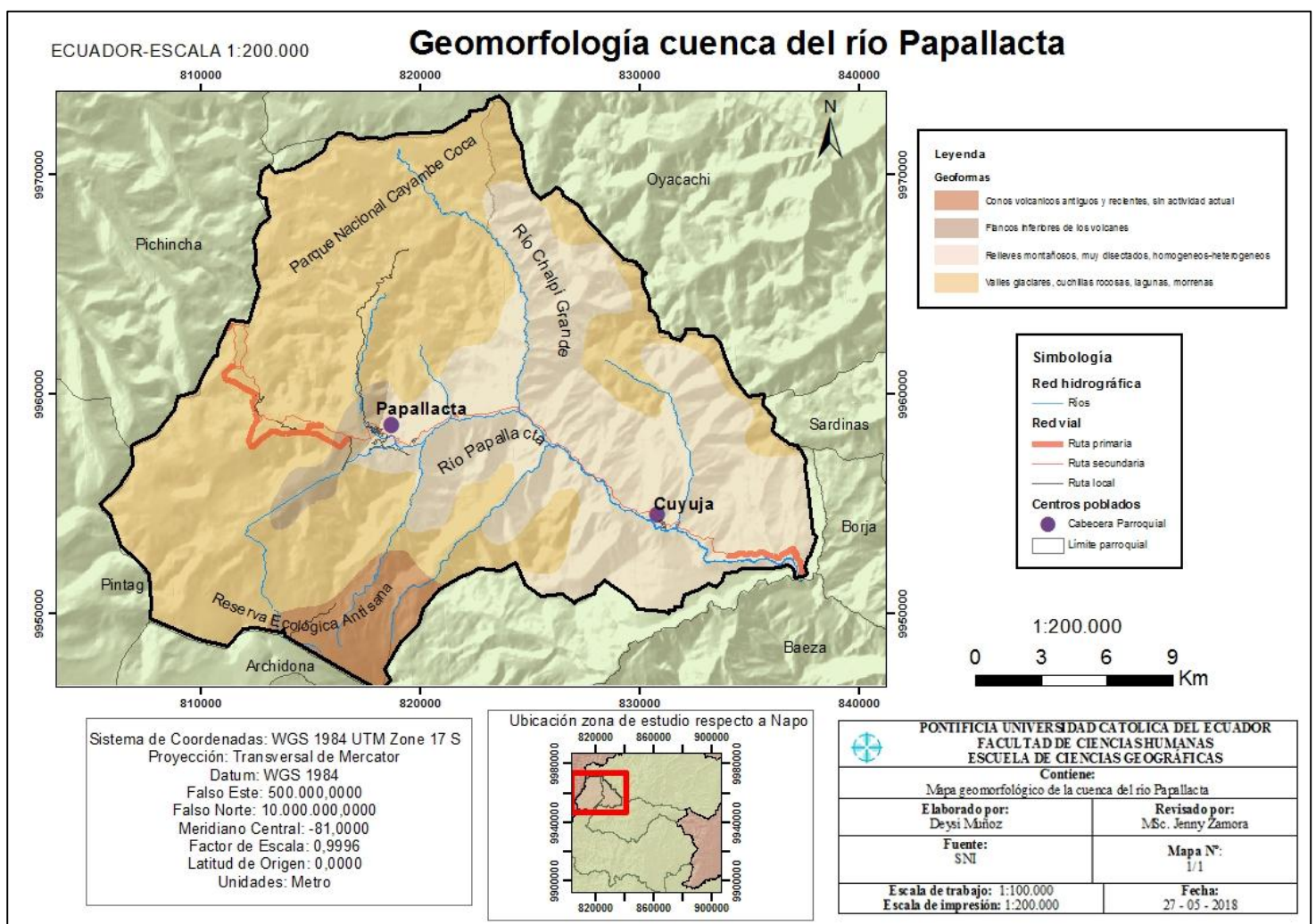


Figura 2.8 Mapa Geomorfológico

De las glaciaciones se tiene la presencia de valles glaciares, cuchillas rocosas, morrenas de diferente altura, espesor y longitud; producto de los deshielos, que provocaron erosión y movimiento de material geológico, mientras que en los espacios que no fueron cubiertos por este proceso se formaron las lagunas glaciares con el líquido proveniente de los deshielos como es el caso de la laguna Papallacta. Posteriormente a este evento se produjeron erupciones volcánicas cuyos materiales como cenizas, tobas y algunos piroclastos cubrieron a estas geoformas dando origen a relieves montañosos, muy disectados homogéneos y heterogéneos, flancos inferiores de volcanes; ambos pertenecientes a la vertiente externa de la cordillera oriental, y finalmente conos volcánicos de tipo estrato volcán (PDOT, 2015).

### 2.5.3. Geología

Geológicamente la cuenca del río Papallacta se trata de una zona influenciada por actividad volcánica y movimientos tectónicos, estos fenómenos físicos han provocado las siguientes formaciones geológicas:

**Formación Chalcana:** esta formación está influenciada directamente con la caldera volcánica del volcán Chacana, con presencia de lutitas y yeso, la erupción de este volcán ha dado origen a domos y conos y ha influenciado en la forma de la cuenca.

**Formación Pisayambo:** es de origen volcánicas presencia de material de andesita, riolita y piroclastos su presencia en la cuenca es gracias a que esta se localiza en el oeste de la cordillera real.

**Suelos volcánico:** producto de grandes erupciones constituido por material piroclástico como: clastos de roca andesítica, limos arenosos y cenizas volcánicas.

**Rocas volcánicas:** comprende los remanentes de estrato volcanes localizados en la cordillera de los Andes en la depresión Interandina: tobas, lavas, aglomerados y brechas.

**Depósitos lacustres:** Ocupan los suelos cercanos a las lagunas formados por limo, limo arenoso medio, arcilla y, material vegetal en ambientes acuosos (PDOT, 2015).

#### 2.5.4. Cobertura y uso del suelo

Como se observa en la figura 2.9, de acuerdo a la información cartográfica procesada se obtiene la cobertura y uso del suelo de la cuenca del río Papallacta tiene un total de 50.134,15 *ha*.

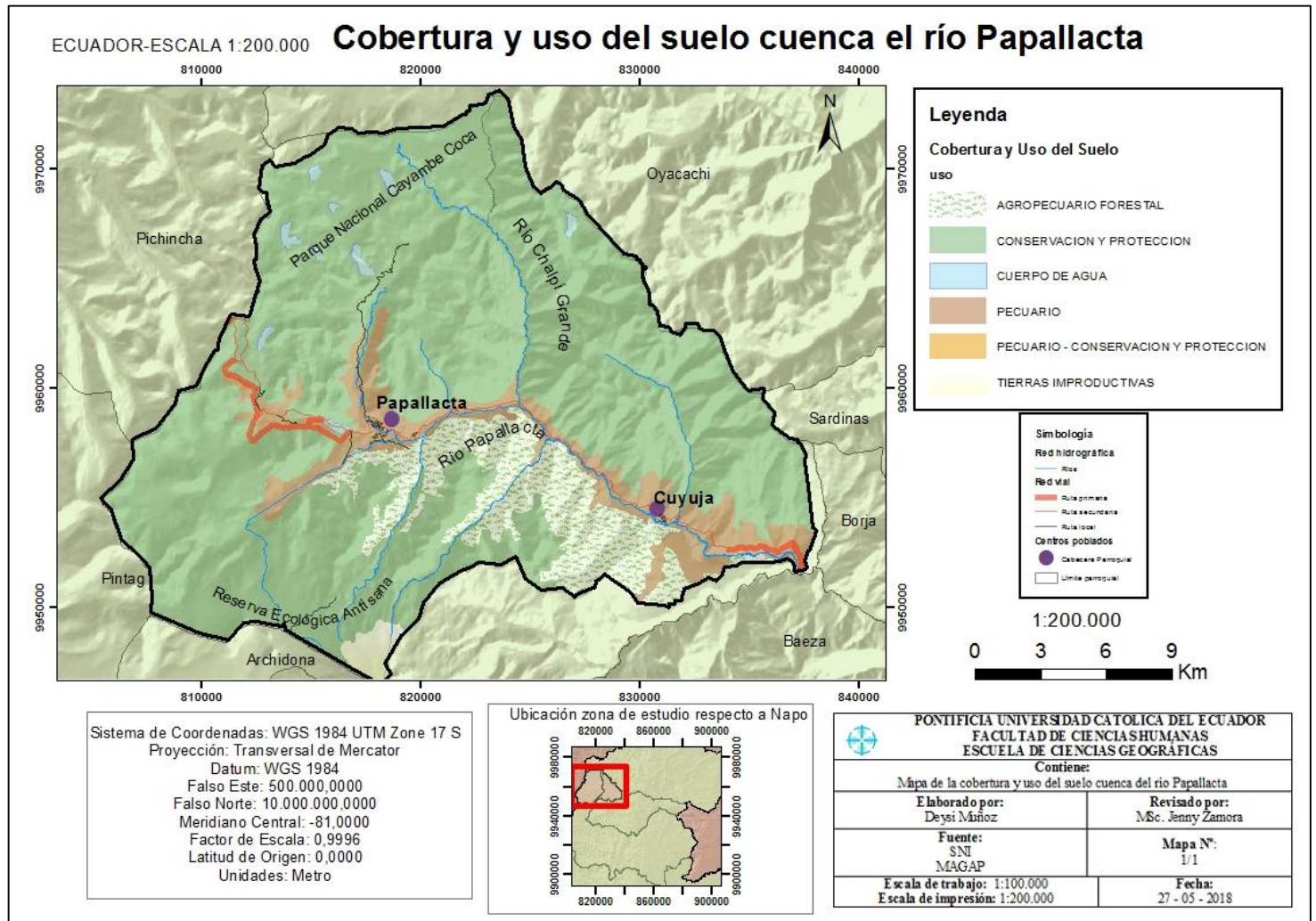


Figura 2.9 Mapa de cobertura y uso del suelo

Esta superficie se encuentra en su mayoría con una cobertura vegetal de vegetación arbustiva y herbácea representando a los páramos, el uso del suelo es de conservación y protección abarcando un total de 31.132,14 *ha*, es decir el 62% del territorio. El páramo predominante es el de almohadilla y el herbáceo.

La cobertura de bosques y tierra forestal en la cuenca es de 7.893,20 *ha*, representa el 15,74% de la superficie y tiene un uso de conservación y protección, formado

por bosques naturales no intervenidos. En estos suelos se lleva acabo el turismo representado por el uso de aguas termales.

Alrededor de 5.337,61 *ha* de bosques se encuentran con uso agropecuario forestal formados por 70% de bosque intervenido y 30% de pasto cultivado; estas tierras representan el 10,75% de la superficie de la cuenca. Aquí se siembran col, habas, papas y cebolla blanca (PDOT, 2015). Las demás actividades giran en torno a la ganadería y la piscicultura.

La cobertura del suelo agropecuaria está representada por 70% pasto cultivado y 30% bosque intervenido, ocupa un total de 3.573,63 *ha* y el uso que se le da es pecuario de conservación y protección, ocupa el 7.13% de la cuenca.

El uso del suelo pecuario abarca el 2,78% de la cuenca con un total de 1.342,90 *ha*, el suelo presenta una cobertura agropecuaria formada de pasto cultivado y pasto natural. Este uso se hace presente en el relieve montañoso de la cuenca del río Papallacta.

Las tierras improductivas representadas por eriales y formadas por afloramientos rocosos minas, gravas, nieve y hielo ocupan una superficie de 464,65 *ha*, y forman el 0.93% del área.

La cuenca del río Papallacta tiene un total de 389,94 *ha*, que están destinadas a cuerpos de agua que generalmente se encuentran formando los humedales de los páramos.

#### **2.5.5. Recurso Hídrico**

El sistema Hidrográfico de la cuenca está jerarquizado por el orden de los afluentes. Los afluentes de orden 1 corresponden todos los nacimientos de agua que no tienen tributarios, los afluentes de orden 2, son aquellos que se unen a partir del orden 1, y finalmente los afluentes de orden tres que se forman por la unión de afluentes de orden 2.

Los afluentes de orden 2, de la cuenca del río Papallacta corresponden a los siguientes ríos:

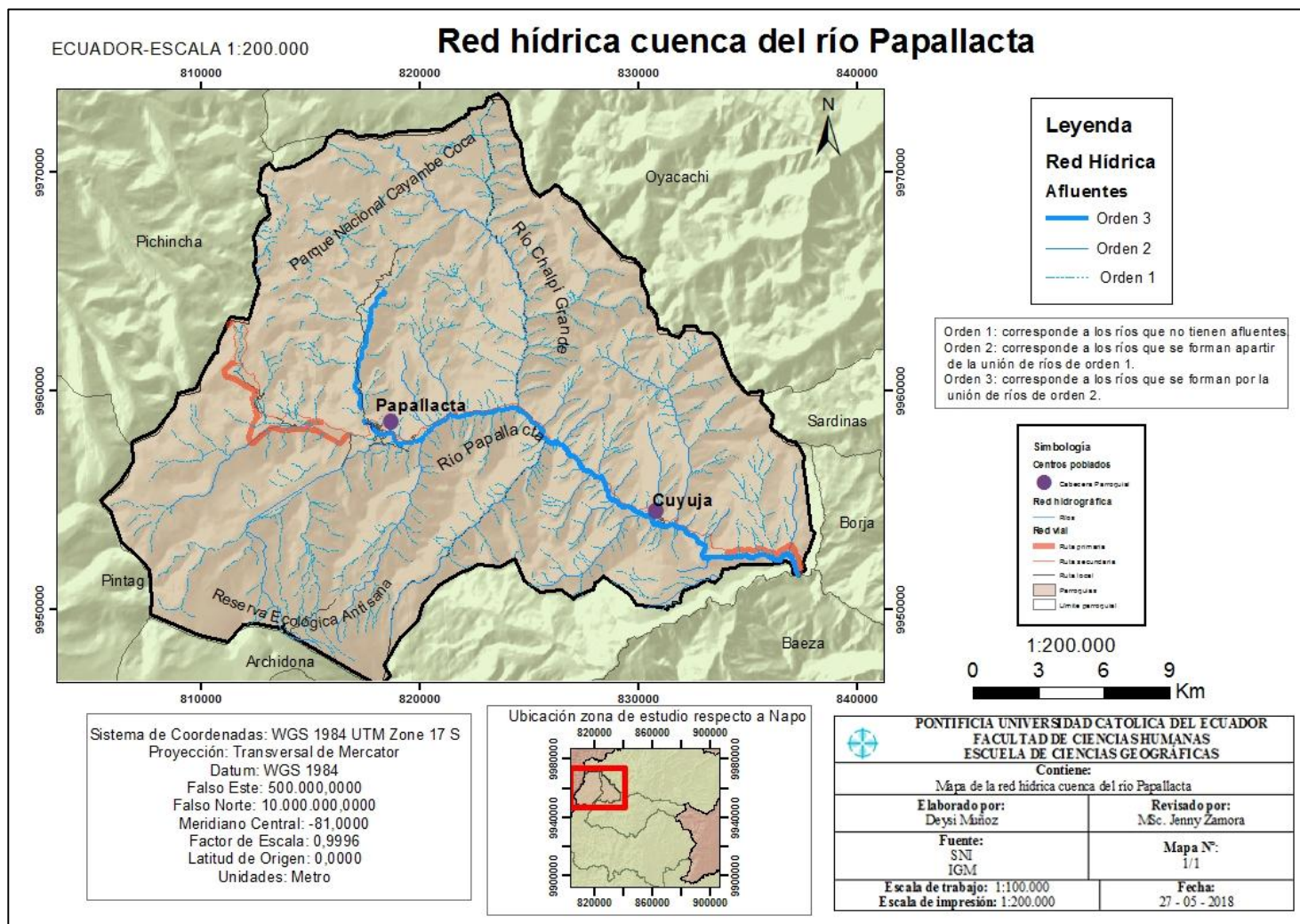
- Blanco grande.
- Blanco chico.
- Camboyacu.

- Chalpi grande.
- Chalpi chico.
- Cuyuja.
- Laurel.
- Loreto.
- San Pedro.
- Suco uno.
- Suco dos.
- Tambo.
- Tumiguina.
- Victoria.
- Virutiyacu.

El río Papallacta es el único afluente de orden 3 presente en la cuenca. La cuenca tiene un total de 892 afluentes de agua superficial de orden 1, 2 y 3 como se puede observar en la figura 2.10, y 513 nacimientos de agua subterránea que dan vida a los diversos cuerpos de agua, 329 de estos nacimientos forman los cursos de agua perenne (PDOT, 2015).

La cuenca del río Papallacta comprende una de las principales fuentes de abastecimiento de agua potable para el Distrito Metropolitano de Quito. Sus principales cauces nacen en los glaciares del Volcán Antisana y en las cordilleras y humedales de la Reserva Ecológica Antisana y el Parque Nacional Cayambe Coca. Dentro de ésta se encuentra uno de los complejos lacustres más importantes a nivel nacional, con 184 formaciones de lagunas (PDOT, 2015).





**Figura 2.10 Mapa hídrico de la cuenca**

### ➤ Zonas de recarga hídrica

La cuenca del río Papallacta al estar localizada tanto en el Parque Nacional Cayambe Coca y la Reserva Ecológica Antisana, el uso del suelo que cubre el 77% de la superficie está destinado a zonas de conservación y protección, estas zonas están formadas por los páramos, que permiten la aparición de nacimientos de agua debido a que actúan como esponjas que permiten almacenar el agua y se encuentran a 3.450 *msnm*. Por lo tanto, la mayor parte de superficie de la cuenca, tiene la capacidad de recarga hídrica.

Los acuíferos en la cuenca cuentan con un total de 513 nacimientos, los cuales se mantienen gracias al proceso de infiltración que ocurre en el ciclo de agua, después de una precipitación y muchos ayudan a mantener el caudal de algunos ríos, durante épocas de estiaje (PDOT, 2015).

➤ **Concesiones de Aprovechamiento de Agua**

En la cuenca del río Papallacta existen alrededor de 17 concesiones de agua para aprovechamiento que se ha otorgado a diferentes empresas y proyectos entre los cuales se encuentran proyectos piscícolas, termas, hidroeléctricas, y abastecimiento de agua potable (PDOT, 2015). En la tabla 2.7, se presentan las concesiones de agua para cada uno de los sectores productivos de la cuenca en la parte alta conformada por la parroquia de Papallacta, en el sector de Cuyuja actualmente no existe un inventario del uso y aprovechamiento del agua.

Tabla 2.7 Concesiones aprovechamiento del agua

Sistema de agua potable Oleoductos Crudos Pesados (OCP) – Chalpi con 1 fuente.
Sistema de agua potable Papallacta – EPMAPS con 4 fuentes.
Ramal Chalpi-Papallacta
Sistema Hidroeléctrico ECOLUZ Papallacta con 1 fuente.
Sistema Hidroeléctrico ECOLUZ – Loreto con 1 fuente.
Sistema Hidroeléctrico Victoria
Sistema Hidroeléctrico Quijos
Sistema Pscícola Centro de Investigaciones Acuícolas (CENIAC)– Papallacta con 1 fuente.
Sistema Pscícola el Paraiso con 1 fuente.
Sistema termal parroquia Papallacta con 1 fuente.
Sistema Termal CENIAC – Papallacta con 1 fuente.

Sistema termal Manitio Libio con 1 fuente.
Sistema termal Coronel Milton con 1 fuente.
Sistema termal Manitio Yolanda con 1 fuente.
Sistema termal Jamanco – Papallacta con 3 fuentes.
Sistema termal Termas de Papallacta con 17 fuentes.
Sistema termal Jamanco – Sucus con 1 fuente.

Fuente: PDOT Papallacta, 2015.

### ➤ **Uso del agua y caudal captado**

Debido a que la cuenca del río Papallacta se localiza en la vertiente oriental del Ecuador está posee un excedente hídrico, constituyendo el agua un recurso importante en la cuenca, que ofrece bienes y servicios a la población que habita en la cuenca, como el uso de fuentes de agua para las termas, piscícolas, e industrial como es el caso de la empresa Petroecuador con la estación de bombeo; pero también este recurso resulta importante, para la población de otras cuencas, debido a que el agua es tomada y transferida a otras cuencas como la de Guayllabamba con el fin de distribuir el agua potable y abastecer a la ciudad de Quito; finalmente las hidroeléctricas que permiten generar energía y dotar de servicio a la población tanto dentro de la cuenca como fuera.

El caudal usado para poder llevar a cabo estas actividades puede verse afectado por el uso consuntivo del agua; es decir aquel volumen de agua extraído y que no regresa al cauce y su flujo norma; el abastecimiento de agua potable es la actividad

que más atenta con el mantenimiento del caudal de los principales ríos que permiten el mantenimiento de la cuenca. Por otro lado, el uso no consuntivo del agua como las hidroeléctricas permite tomar el caudal y regresarlo a su cauce, evitando que se afecte a la hidrología normal de la cuenca. En la tabla 2.8 se presentan los caudales captados en la cuenca del río Papallacta, registrados en su PDOT del año 2015, en la actualidad no existe un registro real de la cantidad de caudales totales que están siendo usados en la cuenca debido a la falta de información del sector de Cuyuja y a los diseños de caudales de los nuevos proyectos hidroeléctricos y de agua potable.

Tabla 2.8 Uso del agua y caudales

<b>USO DEL AGUA</b>	<b>CAUDAL TOTAL CAPTADO (<math>m^3/s</math>)</b>
Sistemas de agua potable	6,334
Sistemas hidroeléctricos	4
Sistemas Piscícolas	1,87
Sistemas Termales	14,204
Sistemas de riego	0,00
Sistemas Industriales	0,35
<b>TOTAL</b>	<b>26,754</b>

Fuente: PDOT, Papallacta 2015

## **2.6. Caracterización socioeconómica.**

### **2.6.1. Demografía**

La cuenca del río Papallacta se localiza en las parroquias de Papallacta y Cuyuja, abarcando los principales centros poblados. El último censo de población y vivienda del 2010, indica que la población para la parroquia de Papallacta es de 920 habitantes con una tasa de crecimiento de 1,48%, en comparación al 2001; mientras

que la parroquia de Cuyuja tiene una población de 614, con una tasa de crecimiento de 2,62%, en relación al 2001. Para ambas parroquias la tasa de crecimiento poblacional se encuentra por debajo de la cantonal, provincial y nacional (PDOT, 2015).

### 2.6.2. Organización territorial

En la cuenca del río Papallacta, existe una serie de asentamientos humanos que se encuentran organizados para poder llevar a cabo actividades que les permitan satisfacer sus necesidades y se encuentran asentados de forma concentrada y dispersa en la cuenca perteneciendo a las parroquias de Papallacta y Cuyuja estas formas de organización se presentan en la tabla 2.9, y fueron obtenidas del PDOT de Papallacta y Cuyuja del 2015. Dentro de la cuenca hay un total de 25 centros poblados (PDOT, 2015).

Tabla 2.9 Organización territorial

Parroquia	Centros poblados concentrados	Centros poblados dispersos
<b>Papallacta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Barrio Central</li> <li>-El Cebollar</li> <li>-El Mirador</li> <li>-San Antonio</li> <li>-Santa Catalina</li> <li>-Valle de Baños</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El Tambo</li> <li>-Chalpi</li> <li>-Calamancha</li> </ul>
<b>Cuyuja</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Barrio Central</li> <li>-Barrio 12 de Febrero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sectores Chalpi</li> <li>- Sectores Guango</li> <li>-Sector Maspa</li> <li>-Sector la Victoria</li> <li>-Sector Alejandría</li> <li>-Sector San Víctor</li> <li>-Sector Molana</li> </ul>

		-Sector Laurel -Sector Quijos Huayco -Sector Jatuntinajua, -Sector Los Cedros -Sector Haciendas Huila -La Esperanza
--	--	--

Fuente: PDOT Papallacta-Cuyuja, 2015.

### 2.6.3. Organización social

Las formas de organización social en la cuenca del río Papallacta, se caracterizan por estar vinculadas con el GAD y otras instituciones como se observa en la tabla 2.10, con el fin de realizar actividades en conjunto que les permitan el desarrollo en varios ámbitos como el productivo, de transporte, cultural, social, deportivo y turístico entro de la cuenca.

Tabla 2.10 Organización social

Parroquia	Pública	Privada
<b>Papallacta</b>	-Junta Parroquial -Tenencia Política y Obras Públicas del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal de Quijos -Barriales -Cuatro asociaciones Educativas -Ministerio del Ambiente	-Asociación de ganaderos y productores de leche -Asociación de servidores turísticos de Papallacta (ASETUPA) -Asociación de Huertos familiares El Tambo y la comercialización de truchas -Dos Cajas Solidarias -Termas de Papallacta -Ecoluz -EPMAPS -Termas Jamanco -Cooperativa de Taxis Santa Catalina -Comunas del Tambo y Jamanco

<b>Cuyuja</b>	-Tenencia Política y Obras Públicas del GAD Municipal de Quijos -Juntarroquial -Barriales.	-Asociación de Ganaderos de Cuyuja -Grupo Huertos Fecundos "Cuyuja" -Grupo de mujeres “Manos Creativas” -Asociación Agropecuaria Los Laureles -Club Deportivo Nuevos Horizontes -Club Deportivo 12 de Febrero -Club Deportivo Cuyuja -Grupo Cultural.

Fuente: PDOT Papallacta-Cuyuja, 2015.

#### 2.6.4. Componente económico

La economía en la cuenca del río Papallacta, se basa en las tres ramas de actividades primaria, secundaria y terciaria.

**Sector primario:** en la parroquia de Papallacta el 15,6% de la población se dedica a la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, mientras un 0,6% a la explotación de minas y canteras. En la parroquia de Cuyuja el 50% de la población se dedica a la ganadería.

**Sector secundario:** el sector industrial de la parroquia de Papallacta carece de un buen desarrollo y apenas el 2,50% de la población se dedica a la actividad. En Cuyuja, la ganadería es la principal actividad económica de la parroquia, la implementación de infraestructura de apoyo a la producción se orienta principalmente a los centros de acopio de leche.

**Sector Terciario:** en Papallacta, el 81,9%, se dedica actividades de alojamiento, comidas representa el 17,9%, y transporte, almacenamiento, y administración pública con el 11,2% (personas). Las actividades de servicios administrativos y de apoyo representan el 8,8%. En la parroquia de Cuyuja los restaurantes, bares y cantinas abarcan el 11,2%, el comercio al por menor 6%, transporte por vía terrestre 6%, y actividades inmobiliarias 6%.

### Sectores Estratégicos

En la cuenca del río Papallacta se llevan a cabo proyectos que tienen importancia económica social y ambiental y tienen que ver principalmente con el recurso hídrico tales como son la presencia de hidroeléctricas y empresas de agua potable. Actualmente existen 7 proyectos que hacen uso del recurso hídrico de la cuenca y se presentan en la tabla 2.11, estos proyectos están administrados por empresas públicas y semipúblicas.

Tabla 2.11 Sectores estratégicos

PROYECTO	Uso del agua	Empresa
Diseño de caudal Papallacta Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair	No consuntivo	Corporación Eléctrica Ecuatoriana.
Hidroeléctrica Victoria	No consuntivo	Empresa Eléctrica Quito.
Hidroeléctrica Quijos	No consuntivo	Corporación Eléctrica Ecuatoriana.
Sistema Integral Papallacta	Consuntivo	Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento.
Represa Salve Faccha	Consuntivo	Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento.
Ramal Chalpi Papallacta	Consuntivo	Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento.

Fuente: PDOT Papallacta-Cuyuja, 2015.

- **Diseño de caudal cuenca alta Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair:** el proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair, se encuentra ubicado en la provincia de Napo y el límite con la provincia de Sucumbíos, genera hasta 1.500 MW de potencia y toma el caudal del río Coca formado por el Quijos y el Salado con un total de 287  $m^3/s$  caudal medio anual, del cual 127  $m^3/s$  corresponden a la subcuenca del Quijos y 46  $m^3/s$  corresponde a la microcuenca del Papallacta. El



diseño de caudales para la obra se realizó en el período de 1972 a 1990 (CELEC, 2018).

- **Hidroeléctrica Victoria:** Está ubicado en la provincia de Napo, parroquia Cuyuja. Tiene una potencia de 10 MW y captará, el caudal del río Victoria con un total de 2.74 m<sup>3</sup>/s. El proyecto aprovecha el recurso hídrico generado por 34 km<sup>2</sup> de la cuenca del río Victoria cuya longitud principal del río hasta su confluencia con el Papallacta es de 11 km medidos a partir de la cota 3.980 m (EEQ, 2018).
- **Hidroeléctrica Quijos:** el proyecto se localiza a 80 km, de la ciudad de Quito y a 17 km de la población de Papallacta y utilizará las aguas provenientes de los ríos Papallacta y Quijos y sus afluentes para captar agua y generar energía limpia. Como se observa en la figura 2.11 las obras de captación en el río Papallacta se encuentran ubicadas aproximadamente en la cota 2.323 msnm y aproximadamente a 100 metros aguas arriba de la confluencia del río Victoria. El túnel de conducción del río Papallacta, de 2.392 m de longitud se une con el túnel de conducción de Quijos formando uno solo. El caudal medio anual que obtiene del río Papallacta es de 16,16 m<sup>3</sup>/s. El diseño de caudales se realizó en el año 2011 (CELEC, 2018).

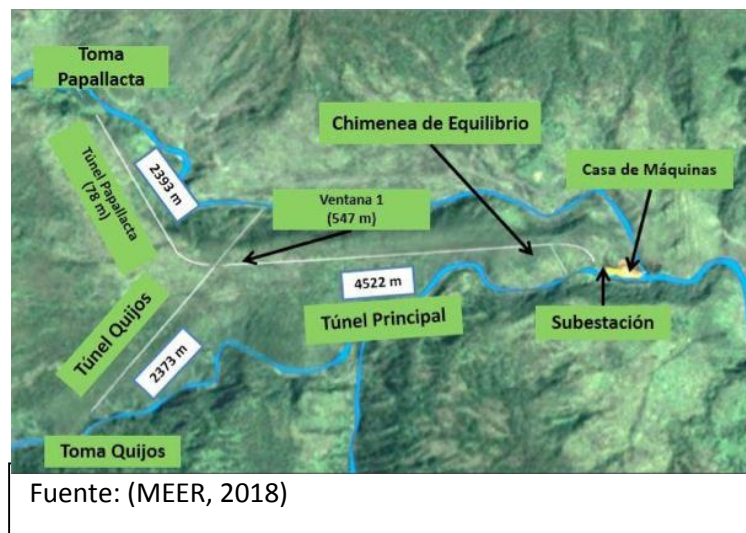


Figura 2.11 Proyecto hidroeléctrico Quijos

- **Sistema Integral Papallacta:** El Proyecto Papallacta fue construido en 1990, abarca la captación y el tratamiento de 3.000 litros por segundo, de caudal que es

conducido mediante un sistema de bombeo hasta la Planta de Bellavista en la ciudad de Quito (EPMAPS, 2018).

- **Presa Salve Faccha:** La Presa Salve Faccha tiene por objeto utilizar las aguas del Río Cunuyacu, para crear un embalse de regulación y reserva de 10.500.000  $m^3$  e incrementar en 1.000  $lt/s$  al caudal del Sistema Papallacta (EPMAPS, 2018).
- **Ramal Chalpi-Papallacta:** es una iniciativa que busca incrementar 2,20  $m^3/s$  al Sistema Integrado Papallacta y de esa forma garantizar a corto y mediano plazos la satisfacción de la demanda de agua potable del Distrito Metropolitano de Quito. El Chalpi es la base para el desarrollo de proyectos importantes como la ampliación de las plantas de tratamiento Paluguillo y Bellavista; así como de la Línea de Transmisión Paluguillo-Parroquias Orientales y la Conducción Paluguillo-Bellavista (EPMAPS, 2018).

## 2.7. Bienes y servicios Ambientales

### ➤ Reserva Ecológica Antisana Paso Del Cóndor

Se localiza en la provincia de Napo y fue creada en 1993. Posee una extensión de 120.000  $ha$ , y su rango altitudinal se encuentra entre los 1.400 a 5.758  $msnm$ . El Antisana es un majestuoso y misterioso volcán en la cordillera Oriental. Es el núcleo de esta área protegida en cuyo interior hay páramos y bosques andinos orientales. La actividad volcánica, el paso y retroceso de los glaciares y la evolución han creado en su territorio paisajes impresionantes y una vida silvestre muy diversa. Como espejo del volcán está la laguna de la Mica, de donde viene parte del agua de la ciudad de Quito. Aparte de la laguna, hay zonas pantanosas donde el agua se anega en época lluviosa, formando lagunas estacionales como la Santa Lucía o la Mauca Machay. En la reserva nacen los ríos que luego se deslizan por las laderas orientales y van a alimentar los ríos Coca y Napo; en el valle del Tambo hay aguas termales. Hasta hace algunos años era de difícil acceso, mas

ahora es una de las áreas más fáciles de visitar desde la capital del país y otras zonas aledañas (SNAP, 2017).

➤ **Parque Nacional Cayambe Coca**

Se localiza en las provincias de Imbabura, Napo, Pichincha, Sucumbíos. Su año de creación fue en 1970. El parque posee una extensión de 404.103 *ha*, y su rango altitudinal oscila entre los 600 a 5.790 *m*. El Parque Nacional Cayambe – Coca protege el volcán nevado Cayambe y las nacientes del río Coca, pero en verdad, éste es más bien el parque nacional del agua. Hay agua por todas partes, en el ambiente por la constante neblina y las lluvias, en la vegetación y la hojarasca del suelo, en los humedales y las lagunas de la parte alta, en el suelo y las almohadillas del páramo, y en los ríos que forman caídas y cascadas. En la parte alta hay célebres vertientes de aguas termales y minerales como las de Papallacta y Oyacachi. En esta región están las nacientes de ríos como el Chingual, el Cofanes y el Cabeno que alimentan al Aguarico, para que junto con el Coca entreguen sus aguas al gran río Napo (SNAP, 2017).

➤ **Laguna Papallacta**

La laguna de Papallacta se forma por un flujo de lava, llamado Potrerillos, en bloques que penetró y rellenó parcialmente el antiguo valle glaciar del río Papallacta, represó un drenaje del río Tambo provocado por la erupción del volcán Antisana en 1773 formándose la laguna de Papallacta. La laguna es administrada por la comunidad de Jamanco, tiene una superficie de 3,24 *ha*.; se encuentra a 3.374 *msnm*. Dispone de laderas medias y altas donde existe buen drenaje. Su majestuosa visión se puede apreciar desde el costado izquierdo de la vía. El color de las aguas generalmente se refleja en tonos oscuros y profundos. El sitio posee trucha y algas; a su alrededor existe hierva, para pastar ganado. Su formación es interesante para realizar actividades como: fotografía, caminata, observación de flora, fauna, pesca deportiva, cabalgatas y paseo en botes (Terjamanco, 2018).

➤ **Cascadas Del Duende**

Las Cascadas del Duende se encuentra en la jurisdicción de la parroquia de Papallacta, y el río que las forma se llama Chalpi Chico, en el *km.* 60 de la vía principal Baeza-Quito. El río que las forma se denomina río Chalpi Chico y consta de 8 caídas, las cuales cuentan con un sedero con señalización. Sus aguas son limpias y cristalinas, debido a que no existe contaminación de ninguna clase (Terjamanco, 2018).

➤ **Termas Jamanco**

Se ubican en la Comuna Jamanco de ahí su nombre, las aguas termales contienen minerales de alto poder curativo, con temperaturas entre 35 y 64°C. Las fuentes son conservadas y aprovechadas en piscinas para uso recreacional y medicinal. Se puede realizar las siguientes actividades turísticas: balneario, recreativa, fotográfico (Terjamanco, 2018).

## **CAPÍTULO 3**

### **ANÁLISIS DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO Y LA PRECIPITACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA**

#### **3.1. Selección de imágenes satelitales**

Para poder analizar el cambio del uso del suelo, se requiere elaborar un análisis multitemporal de imágenes satelitales de la cuenca del río Papallacta. El estudio que se realiza es por un periodo de 10 años, desde el 2007 hasta el 2017; por lo tanto, se determina la cobertura y el uso del suelo para el año 2007 y 2017, y así identificar las transiciones que ha tenido la cuenca en ese periodo de tiempo.

Las imágenes se obtienen de la página Earthexplorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), que permite la descarga gratuita de imágenes capturadas por diferentes sensores. Las imágenes seleccionadas para la descarga son capturadas por el satélite Landsat 7 ETM+, para el año 2007; debido a que este satélite contiene una colección de imágenes desde 1999-2003 y desde el 2003 hasta el presente. Para el año 2017, la imagen se obtiene del satélite Landsat 8, sensor OLI.

El primer criterio para realizar la selección fue definir el área de interés mediante una extensión de archivo kml que se subió al Earthexplorer donde contiene la cuenca del río Papallacta. Debido a que la cuenca se encuentra en un área donde presenta nubosidad durante todo el año, se busca la imagen con el menor porcentaje de nubes que cubren la tierra y la escena en el área de estudio, para la imagen del 2017, la búsqueda se realizó desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre del 2017, con un total de 40 resultados de los cuales una imagen presentaba el menor porcentaje de nubes. Para la imagen del 2007, la búsqueda es desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre del mismo año con un total de 36 imágenes de las cuales se seleccionó la que cubre la cuenca y tiene menor porcentaje de nubes. En la tabla 3.1 se presentan los criterios de selección de las imágenes como la fecha, tiempo, resolución, bandas, nubosidad y formato.

Tabla 3.1 Selección de imágenes satelitales

Año	Criterios						
	Fecha	Tiempo	Resolución	% de tierra oscurecido por nubes	% de la escena oscurecida por nubes	Bandas	Formato
2007	2007/07/31	Día	30m, banda multiespectral y 15m, banda pancromática.	33	33	8	GEOTIFF
2017	2017/09/20	Día	30m, banda multiespectral y 15m, banda pancromática.	39	39	9	GEOTIFF

Fuente: USGS

### 3.2. Preprocesamiento de imágenes satelitales

Para procesar las imágenes se trabaja con el programa ENVI 5.3, que es un software que permite el tratamiento de imágenes satelitales capturadas por diferentes sensores presentes en los satélites. El preprocesamiento de la imagen permite corregir errores que tienen los instrumentos al capturar la imagen y las interferencias atmosféricas que alteran la calidad de la imagen (Rejas, 2008). Este proceso dentro del estudio de cambio de uso de suelo va permitir contar con una mejor imagen del área de estudio, para poderla trabajar. Para determinar la cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Papallacta se trabaja con la banda multiespectral, resolución 30 m de Landsat 7 y Landsat 8.

### **3.2.1. Corrección geométrica**

Este proceso no se llevó a cabo porque las imágenes como producto ya se encontraban rectificadas, es decir ya poseen una proyección en coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM), con el datum WGS 84, zona 17 sur.

### **3.2.2. Calibración radiométrica**

#### **➤ Píxeles perdidos**

Para la imagen del 2007, el primer paso de corrección fue llenar los vacíos o píxeles perdidos de las imágenes mediante la herramienta Landsatgapfill que es una extensión del ENVI 5.3. Esta herramienta contiene un algoritmo que permite corregir los valores perdidos de las escenas Landsat. La imagen del 2017, ya no presenta la pérdida de píxeles.

#### **➤ Conversión de los niveles digitales a valores de radiancia**

Esta conversión se realiza con el fin de obtener los valores de energía capturados por el sensor sobre el terreno, y no la radiancia que procede del suelo y se representa en valores numéricos. Para el efecto se utiliza la herramienta calibración radiométrica de ENVI 5.3.

### **3.2.3. Corrección atmosférica**

La corrección atmosférica se realiza con el fin de mejorar la calidad visual, ya que esta se ve distorsionada por la interacción del sensor con la atmosfera bajo los efectos de los aerosoles y la radiancia propia que produce el sensor (Aguilar, 2014). La herramienta que se utiliza es la FLAASH Atmospheric Correction de ENVI 5.3. En esta herramienta se requiere introducir los valores de radiancia, la

fecha el sensor, la hora, latitud, longitud y otros valores que se encuentran en el metadato de la imagen; permitiendo realizar la corrección.

#### **3.2.4. Enmascaramiento de nubes**

Este proceso se realiza con el fin de generar una máscara de las nubes presentes en la cuenca del río Papallacta, para ello se realiza un análisis de componentes principales. Este análisis permite transformar los valores de reflectancia a escala de grises de una imagen para poder destacar elementos del terreno entre ellos la presencia de nubes (Miranda, 2015), y poder construir una máscara de las mismas, facilitando la posterior clasificación.

### **3.3. Procesamiento de imágenes satelitales.**

#### **3.3.1. Delimitar el área de estudio**

Para seleccionar el área de estudio se realizó la construcción y aplicación de una máscara, con un archivo vector de la cuenca del río Papallacta, obteniendo así la imagen satelital de la cuenca delimitada.

#### **3.3.2. Selección de la leyenda temática**

Para la selección de la leyenda temática de cobertura vegetal y uso del suelo, se usa como base la definida por el Ministerio de Agricultura Pesca y Acuicultura (MAGAP), y el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), en el Mapa de Cobertura y Uso de la tierra de Ecuador Continental escala 1:100.000 2013-2014, nivel I, en base a estas se seleccionaron para la cuenca las siguientes clases:

- ✓ Vegetación arbustiva y herbácea: formada por páramos y arbustos.
- ✓ Bosques: árboles de formación natural no intervenidos.
- ✓ Tierra agropecuaria: pastos y cultivos.



- ✓ Cuerpo de agua: formaciones como lagunas y lagos
- ✓ Eriales: nieve, afloramientos rocosos, arena, grava.
- ✓ Zona antrópica: centros poblados.

### **3.3.3. Composición de bandas**

La composición de bandas se realiza con el fin de diferenciar los objetos presentes en la superficie y poder clasificarlos de acuerdo a las categorías correspondientes a la que pertenecen. Para ambas imágenes se trabajó simultáneamente con la combinación de bandas 3-2-1 que representa los colores reales de la superficie, y después se selecciona una combinación de bandas que permita diferenciar los objetos de la superficie.

### **3.3.4. Selección de muestras**

Se tomaron alrededor de 3 a 5 muestras para cada de una de las clases de la leyenda seleccionada, mediante polígonos y en ambas imágenes. Las muestras se guardaron en una carpeta dentro de las regiones de interés del software ENVI 5.3.

### **3.3.5. Clasificación supervisada**

La clasificación supervisada se realiza, porque se tiene conocimiento del área de estudio debido a que se llevado a cabo visitas en campo y se ha revisado mapas y fotografías. El método de clasificación que se utiliza es el de máxima probabilidad o vecino cercano, este es un modelo estadístico de clasificación que se basa en la media, varianzas y covarianzas de los valores de reflectividad, para estimar la probabilidad de que un pixel pertenezca a una de las clases seleccionadas y lo clasifica donde su probabilidad sea mayor (Chuvieco, 2000).

### 3.3.6. Validación de la clasificación

Para validar la clasificación, se realiza una post clasificación utilizando la herramienta de matriz de confusión por valores reales de la región de interés de ENVI 5.3. Esta matriz va a comparar las muestras seleccionadas en la imagen con puntos de control tomados en campo por GPS (León, 2015). Una vez que se obtiene la matriz se calcula el índice de Kappa. El índice de Kappa es un indicador, que toma valores de 0 a 1, donde los valores que más se acercan a 1, representan exactitud y buena calidad (Cogalton, 1983).

### 3.3.7. Tratamiento cartográfico

Para la depuración cartográfica se utiliza el Software ArcGIS 10.3, en la figura 3.1, se observa los pasos que se siguieron para elaborar los mapas de cobertura y uso del suelo. La imagen guardada en formato Tiff de ENVI 5.3, se abre en el ArcMap para poder tratarla.

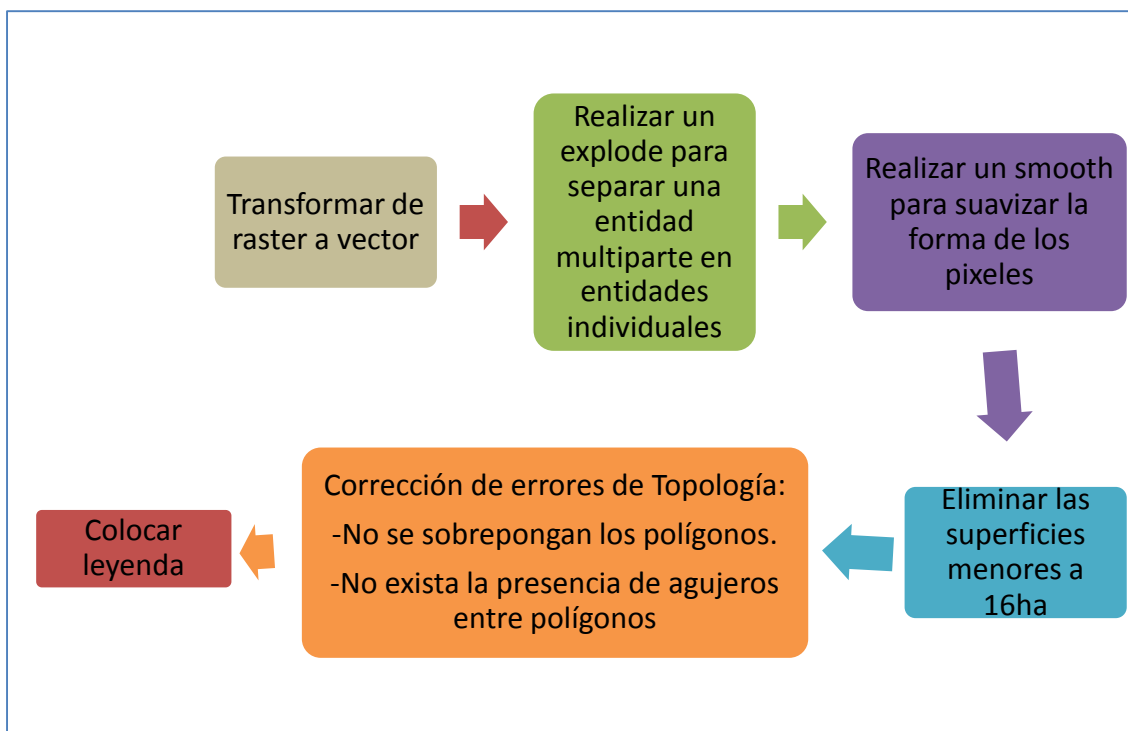


Figura 3.1 Tratamiento cartográfico

En la figura 3.2, se puede observar el proceso completo de preprocesamiento y procesamiento de las imágenes satelitales para la obtención del cambio y cobertura del uso del suelo por el periodo de diez años desde el 2007 hasta el 2017, para la presente investigación.

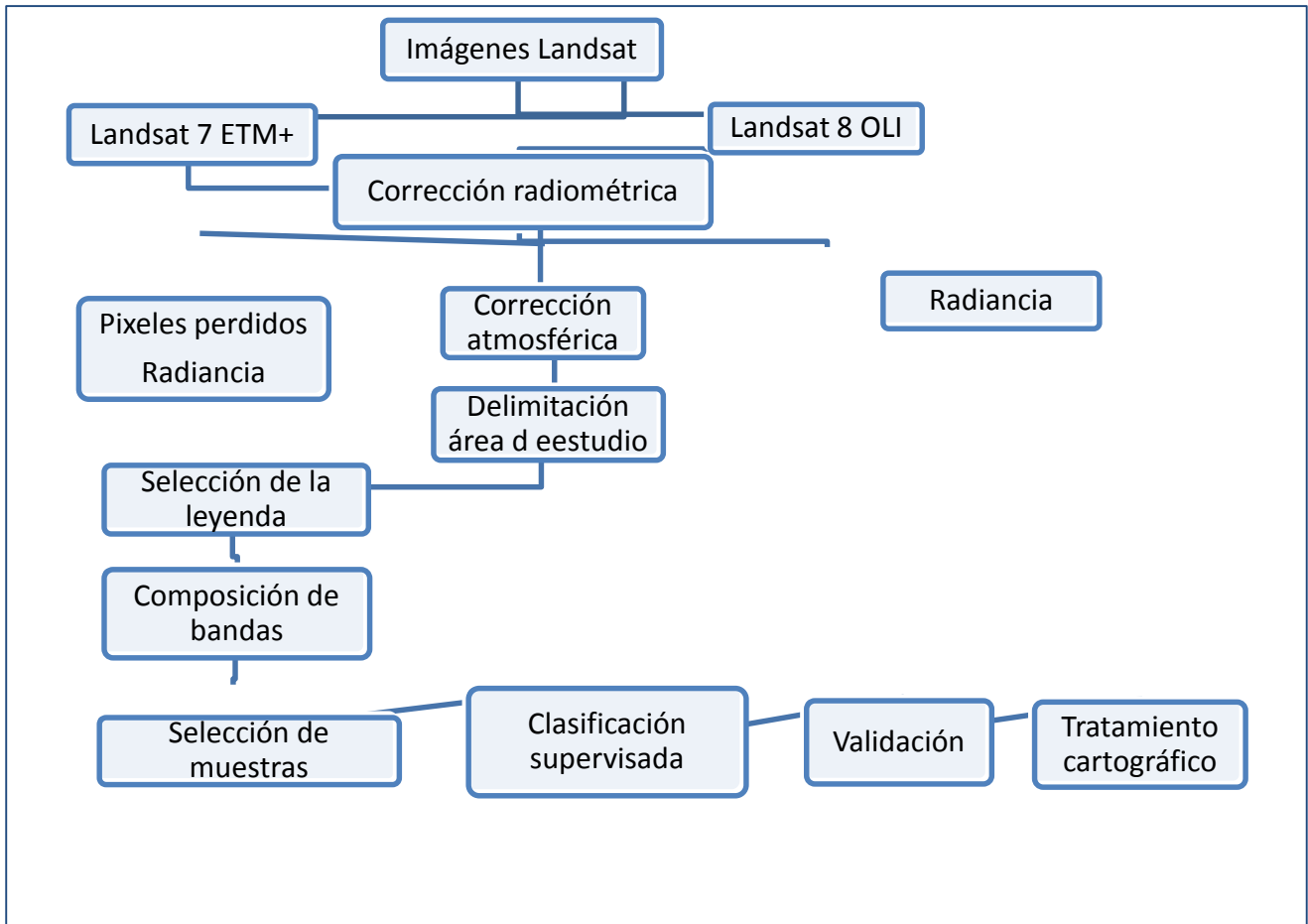


Figura 3.2 Flujo de tratamiento de imágenes Landsat

### 3.4. Mapas de cobertura y uso del suelo

#### 3.4.1. Cobertura y uso del suelo

##### Año 2007

Para el año 2007, como se observa en la figura 3.3, la cobertura con mayor presencia en la cuenca del río Papallacta es de vegetación arbustiva y herbácea; es decir páramos con 23.416,23 *ha* (46,70%), esto debido a la localización de la cuenca que se encuentra en la Reserva Ecológica Antisana y el Parque Nacional

Cayambe Coca, a continuación se encuentran los bosques con 15.020,52 *ha* (29,9%), la tierra agropecuaria ocupa 9.626,85 *ha* (19,20%), constituida por pastos y cultivos, los eriales representados por la nieve y hielo, afloramientos rocosos y el flujo de material volcánico proveniente del Antisanilla ocupa 1.745,01 *ha* (3.48%), finalmente la superficie con menor representatividad es la de zona antrópica con 25,12 *ha* (0,07%), representando a la parroquia de Papallacta.

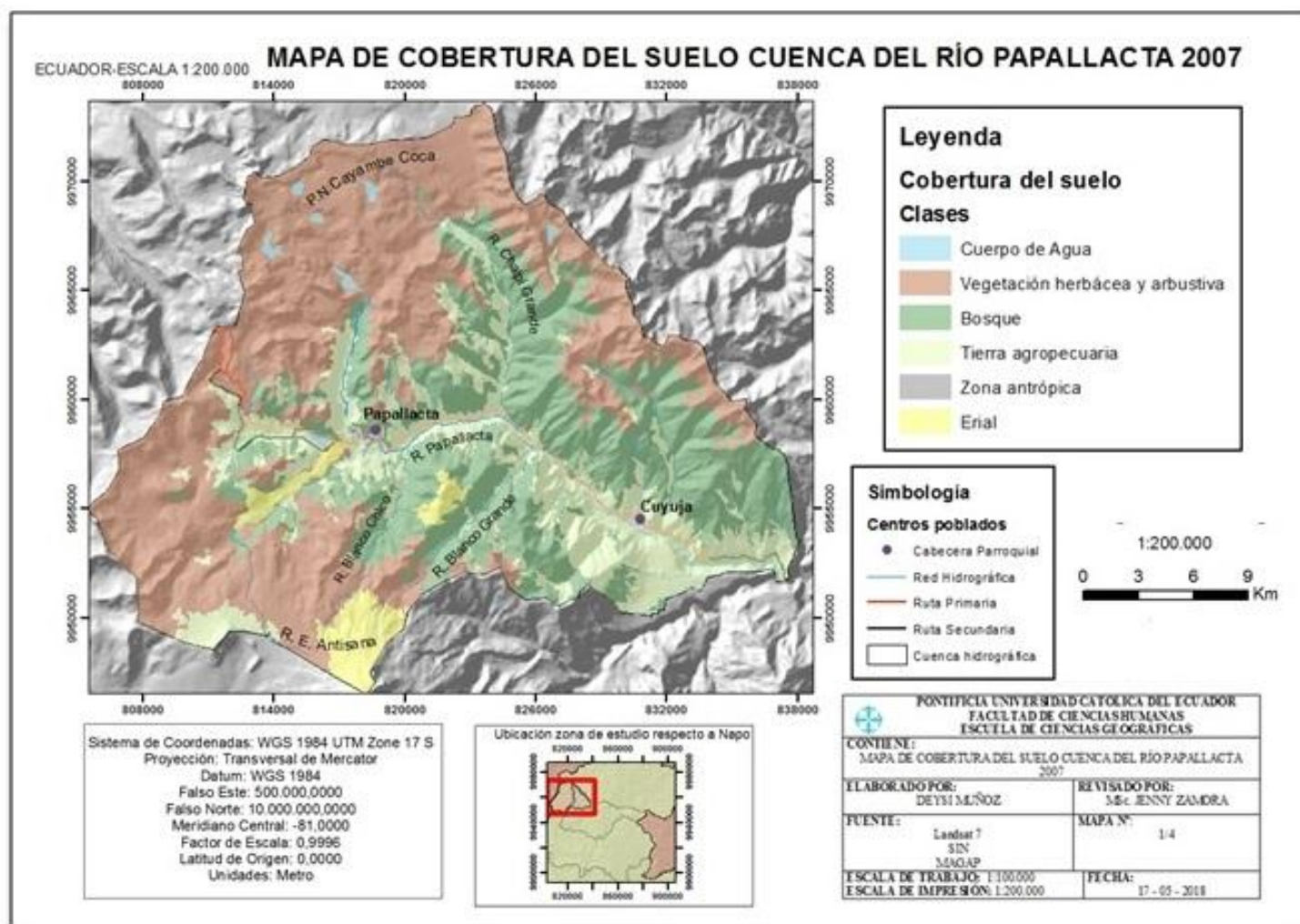


Figura 3.3 Mapa de cobertura del y uso del suelo, cuenca de río Papallacta 2007

### Año 2017

Para el año 2017, como se evidencia en la figura 3.4, la cobertura con mayor presencia en la cuenca del río Papallacta es de vegetación arbustiva y herbácea; es decir páramos con 24.444,06 *ha* (48,75%), a continuación se encuentra la

tierra agropecuaria ocupa 12.383,34 *ha* (24,69%), constituida en su mayor parte por pastos y cultivos, los bosques con 11.933,132 *ha* (23,80%), los eriales representados por la nieve y hielo, afloramientos rocosos y el flujo de material volcánico proveniente del Antisanilla ocupa 1.564,07 *ha* (3,11%), finalmente la superficie con menor representatividad es la de zona antrópica con 219,10 *ha* (0,43%), representando a la parroquia de Papallacta, Cuyuja, el sector de la virgen y la zona donde se localiza la estación de bombeo de Petroecuador.

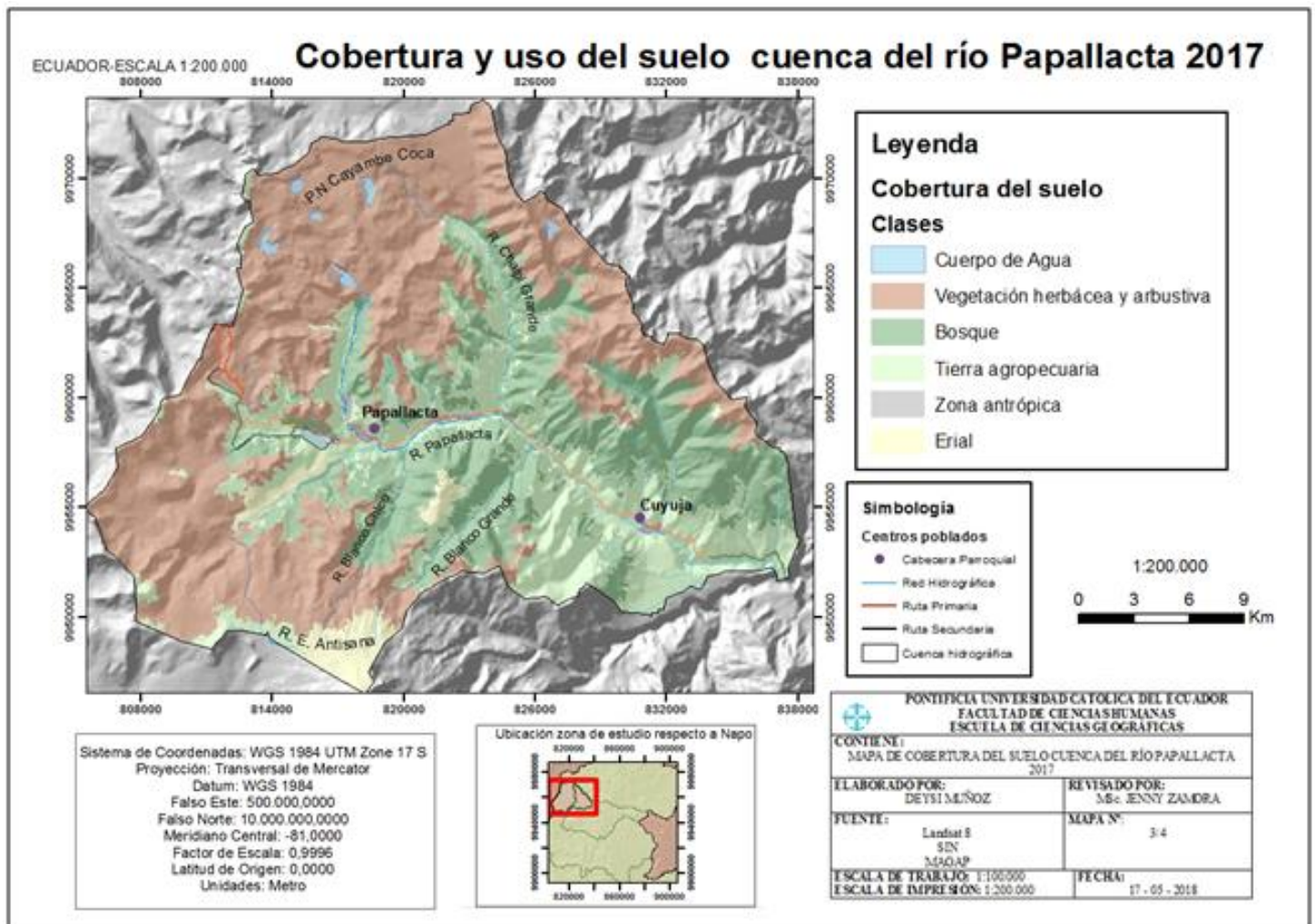


Figura 3.4 Mapa de cobertura y uso del suelo, cuenca de río Papallacta 2017

### 3.5. Selección de estaciones y datos de precipitación

#### 3.5.1. Red de estaciones meteorológicas cuenca del río Papallacta

En la cuenca del río Papallacta existen alrededor de 10 estaciones meteorológicas convencionales como automáticas, en la tabla 3.2, se presenta la red de estaciones de la cuenca, las cuales se encuentran administradas por entidades públicas, privadas y organizaciones internacionales, entre las que se encuentran: el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Instituto Nacional de Electrificación (INECEL), Fondo para la Protección del Agua (FONAG), y la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS). En la figura 3.5, se observa la distribución espacial de las estaciones dentro de la cuenca del río Papallacta.

Tabla 3.2 Red de estaciones

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Administrador</b>
M5022	Control Baños	FONAG
M5023	Papallacta	FONAG
M5024	El Tambo	FONAG
M5025	La Virgen	FONAG
M1073	Papallacta Inecel	INECEL
M0436	Cuyuja	INAMHI
M0188	Papallacta	INAMHI
M5130	Antenas	EPMAPS
-----	Loreto	EPMAPS
-----	Relictos del bosque	EPMAPS



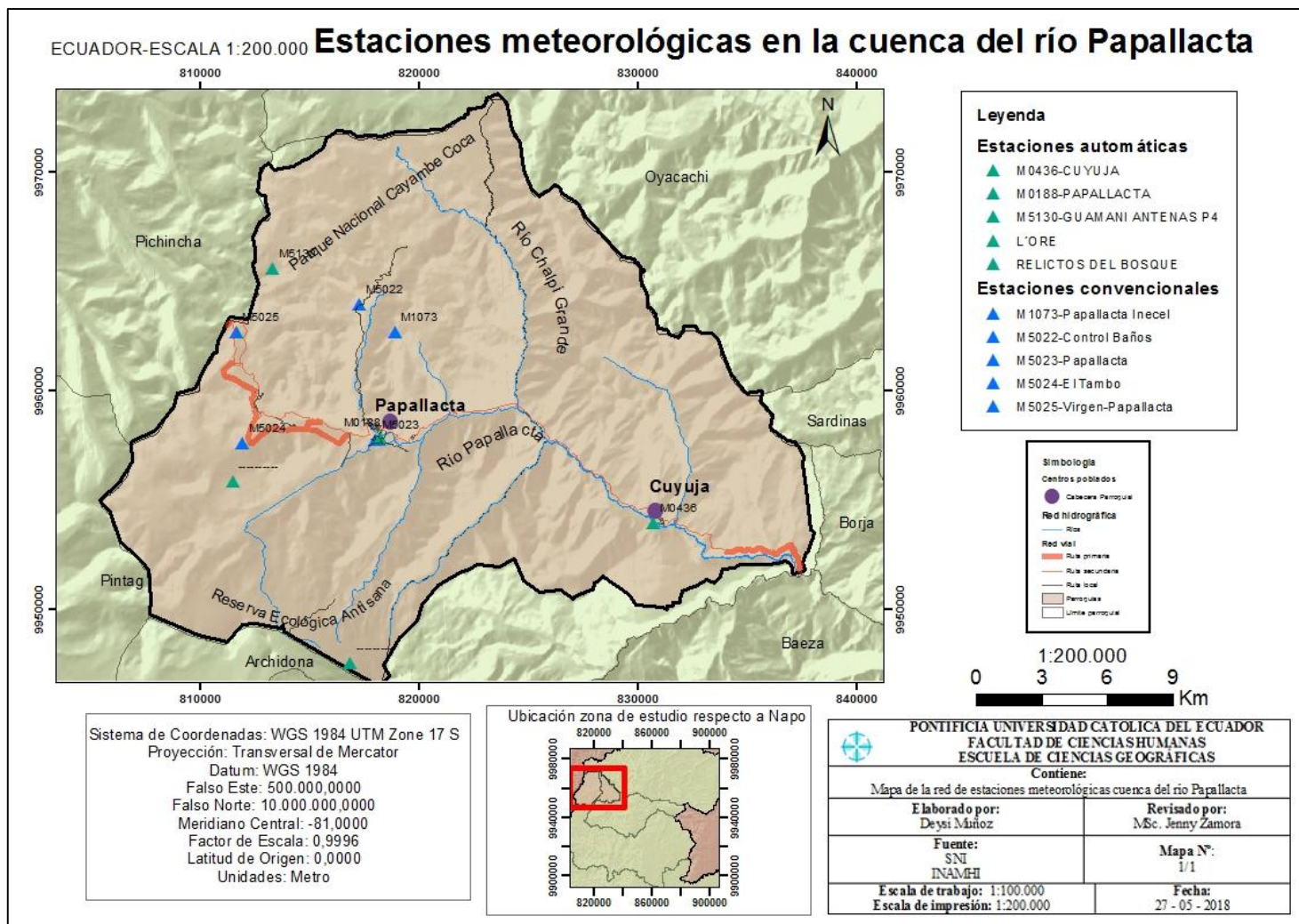


Figura 3.5 Mapa red de estaciones meteorológicas

### 3.5.2. Estaciones de trabajo

Los criterios de selección de estaciones se basaron en dos: tener acceso a los anuarios y tener el mayor registro de datos de precipitación desde el 2007 al 2017. En la tabla 3.3, se presentan las estaciones que cumplían con estos criterios y fueron seleccionadas para el trabajo.

Las estaciones para obtener los datos de precipitación neta por un periodo de diez años del 2007 hasta el 2017, fueron tres la estación Papallacta M5023, contiene registros completos de las precipitaciones netas desde el 2013 hasta el 2017. La estación Papallacta M0188 y Cuyuja M0436, se seleccionaron para obtener los datos de la precipitación neta desde el 2007 hasta el 2012 (ver en Anexo 2).

Tabla 3.3 Estaciones de trabajo

Código	Estación	Tipo	Administrador	Variable	Periodo de registro
M5023	Papallacta	Automática	FONAG	Precipitación neta	2013-2017
M0188	Papallacta	Automática	INAHMI	Precipitación neta	2007-2012
M0436	Cuyuja	Aromática	INAHMI	Precipitación neta	2007-2012

### 3.5.3. Datos de precipitación neta anual

Los datos de precipitación neta anual se obtienen de la suma de los datos de precipitación mensual registrada en el periodo de 10 años. Para completar la serie de diez años se seleccionaron estaciones que tengan una ubicación cercana y se encuentren a una misma altura, la estación M0188, se encuentra a 3.150 *msnm* y la M5023 a 3.100 *msnm*, estas características permiten homogenizar los datos para obtener las series anuales, debido a que los datos de precipitaciones presentan un coeficiente de correlación  $>8$ , entre estas dos estaciones. La estación M436, se utiliza para completar los datos faltantes de los años 2009, 2011 y 2012 de la M0188. En la figura 3.6, se muestra los datos de la precipitación obtenidos de las estaciones y los datos de los años faltantes.

ESTACIÓN	AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OC.T	NOV.	DIC.	TOTAL mm
M0188	2007	81	41,5	65,9	116,8	99,7	212	110,9	86,9	84	57,6	87,4	46,2	1089,9
M0188	2008	63,1	93,7	51,2	118,2	151,5	175,1	162,4	140,9	122,8	132,2	51,6	103,5	1366,2
M0188	2009	149,3	57,3	113,5		136,2	187,2	155,2	148,8	87,4	188,3	1,7	27,3	
M0188	2010	151,1	108,4	103,6	195,7	157,4	279,5	74,5	180,8	118,9	67	145,3	79,6	1661,8
M0188	2011	73,3	131	38,1	176,9	251,2	196,9	271,1	144,4	131,7	60,9	63,1		
M0188	2012	105,6	93,7	140,6	112,8	150,3	166,4	206,9	147,1	14,3	38,5	13		
M5023	2013	40,3	113,8	46,3	48,5	100,6	83,6	150,3	74,3	79,7	73,8	53,2	24,3	888,7
M5023	2014	9,3	20,8	78,5	88,6	80,7	28,5	107,6	62	89,7	81,6	55,8	55,6	758,7
M5023	2015	80,8	55,9	76	55,5	54,4	285,3	227,8	119,1	41,6	58,2	91,2	44,4	1190,2
M5023	2016	23,2	68	116,7	130,3	87,9	245,5	122,7	55,7	120,2	34,7	45,3	37,5	1087,7
M5023	2017	97,9	30,9	106,5	88,8	150,5	139,2	247,1	132,5	97,5	63,9	76,5	97,7	1329

Figura 3.6 Datos de precipitación neta



Para el relleno de datos faltantes de precipitación neta, se utiliza en método de correlación lineal, en la tabla 3.4, se presentan los coeficientes de correlación de las estaciones y las ecuaciones para obtener el dato de precipitación faltante.

Tabla 3.4 Coeficientes de correlación precipitación

Estación de Relleno	Estación Auxiliar	Año	R	Ecuación
M0188	M436	2009	0,3258	$y = 0,4141x + 77,433$
M0188	M436	2011	0,7485	$y = 0,5383x + 51,193$
M0188	M436	2012	0,6617	$y = 0,5669x + 64,554$
Estación de Relleno	Estación Auxiliar	Año	R	Ecuación
M0188	M436	2009	0,3258	$y = 0,4141x + 77,433$
M0188	M436	2011	0,7485	$y = 0,5383x + 51,193$
M0188	M436	2012	0,6617	$y = 0,5669x + 64,554$

### 3.5.4. Completación de datos de precipitación

Para completar los datos de la estación M0188, se utiliza como estación auxiliar la M436, que una estación que contiene los datos completos en el año 2009, 2011 y 2012 y el método de coeficiente de correlación lineal. Para obtener el dato faltante se reemplaza el valor de x, con el valor de precipitación que contiene la estación con la serie completa de datos. En la figura 3,7, se observa los datos faltantes de las precipitaciones que fueron rellenos por el método de correlación lineal.

ESTACIÓN	AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OC.T	NOV.	DIC.	TOTAL mm
M0188	2007	81	41,5	65,9	116,8	99,7	212	110,9	86,9	84	57,6	87,4	46,2	1089,9
M0188	2008	63,1	93,7	51,2	118,2	151,5	175,1	162,4	140,9	122,8	132,2	51,6	103,5	1366,2
M0188	2009	149,3	57,3	113,5	153,17	136,2	187,2	155,2	148,8	87,4	188,3	1,7	27,3	1405,37
M0188	2010	151,1	108,4	103,6	195,7	157,4	279,5	74,5	180,8	118,9	67	145,3	79,6	1661,8
M0188	2011	73,3	131	38,1	176,9	251,2	196,9	271,1	144,4	131,7	60,9	63,1	175,54	1714,14
M0188	2012	105,6	93,7	140,6	112,8	150,3	166,4	206,9	147,1	14,3	38,5	13	108,54	1297,74
M5023	2013	40,3	113,8	46,3	48,5	100,6	83,6	150,3	74,3	79,7	73,8	53,2	24,3	888,7
M5023	2014	9,3	20,8	78,5	88,6	80,7	28,5	107,6	62	89,7	81,6	55,8	55,6	758,7
M5023	2015	80,8	55,9	76	55,5	54,4	285,3	227,8	119,1	41,6	58,2	91,2	44,4	1190,2
M5023	2016	23,2	68	116,7	130,3	87,9	245,5	122,7	55,7	120,2	34,7	45,3	37,5	1087,7
M5023	2017	97,9	30,9	106,5	88,8	150,5	139,2	247,1	132,5	97,5	63,9	76,5	97,7	1329
													P.media anual	1378,945

Figura 3.7 Relleno de datos faltantes

### **3.6. Estimación de la escorrentía**

Para poder determinar la escorrentía a partir de precipitación se requiere transformar la precipitación total a precipitación efectiva. La precipitación efectiva, resulta ser el agua que escurre por la superficie de la cuenca (Quevedo, 2016). Para poder determinar el escurrimiento se utiliza el método propuesto por el Servicio de Conservación de suelos de los Estados Unidos (Lavao, 2015), denominado número de curva (CN), que va permitir obtener el volumen escurrido, el caudal máximo y el hidrograma de crecida.

#### **3.6.1. Cálculo del número de la curva**

El SCS, toma al número de curva como una metodología que toma valores de 0 a 100 de una cuenca para generar escorrentía donde el 0 y sus valores cercanos representan condiciones de permeabilidad muy alta y 100 y sus valores cercanos condiciones de impermeabilidad. Para poder asignar estos valores, es necesario tomar en cuenta los factores de: grupo hidrológico del suelo, uso y cobertura del suelo y condiciones previas de humedad. Los grupos hidrológicos del suelo se clasifican en A, B, C Y D, según el SCS (ver en Anexo 3). En la tabla 3.5, se presenta la información cartográfica para determinar el número de curva, y en la tabla 3.6, el número de curva que se le asigna a cada tipo de uso del suelo según la clasificación Corine Land Cover del 2000.

Para el uso y cobertura del suelo se utiliza la tabla de valores de número de curva en función de la clasificación de Corine Land Cover del 2000, la selección de esta clasificación se utiliza porque es una de las más completas y posee la cobertura y usos de suelo presentes en nuestra área de estudio (ver en anexo 4). Finalmente se obtiene el número de curva para cada tipo de suelo y el ponderado de toda la cuenca, mediante la elaboración de mapas en ArcGIS, asignando los valores presentes en las clasificaciones dadas en los anexos anteriores.

Tabla 3.5 Cartografía utilizada para el número de curva

<b>Mapa</b>	<b>Escala</b>	<b>Atributo</b>
Hidrogeología	1:100.000	Litología
Geopedología	1:100.000	-Pendiente -Textura del suelo

Tabla 3.6 Número de curva en función de Corine Land Cover

<b>Cobertura y Uso</b>	<b>Clasificación Corine Land Cover</b>	<b>Número de curva</b>
Cuerpo de agua	Lagos y Lagunas	100
Vegetación herbácea y arbustiva	Prados y Praderas	42-61 -74 -80
Bosque	Bosque Mixto	36 -52 -62 -69
Tierra agropecuaria	Pastos y cultivos	49- 69- 78 -85
Zona antrópica	Tejido urbano discontinuo	68 -78- 86 -89
Eriales	Nieve, afloramientos rocosos	96

En la figura 3.8, se presenta la distribución espacial del número de curva de la cuenca del río Papallacta en el año 2003, mientras que en la figura 3.9, se muestra la tabla de atributos con los criterios para determinar el número de curva, entre los cuales se encuentran la litología y la cobertura y uso del suelo.

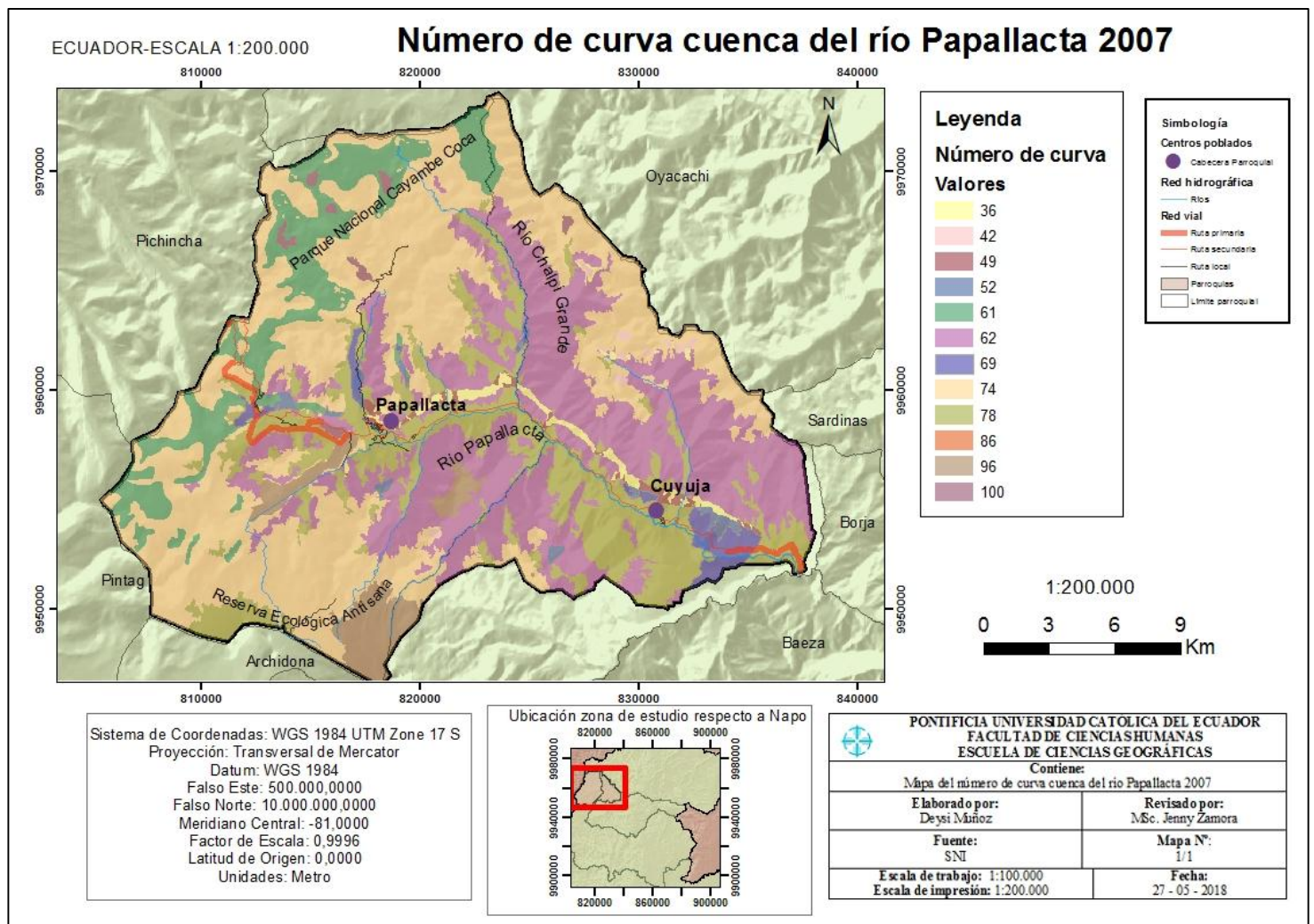


Figura 3.8 Número de curva 2007

hape *	LITOLOGIA	TexS	land cov	CLASES H	CN	AREA 1	MULT
gon ZM		FRANCO	Erial	C	96	1744,394413	167461,863613
gon ZM	DEPOSITO ALUVIAL	FRANCO ARENOS	Bosque	A	36	593,529728	21367,070206
gon ZM	TERRAZAS ALUVIALES	FRANCO LIMOSO	Bosque	B	52	314,135388	16335,040181
gon ZM	LAHARES	FRANCO	Bosque	C	62	13973,748549	866372,410026
gon ZM		NO APLICABLE	Cuerpo de agua	C	100	271,727838	27172,78384
gon ZM	LAVA INDIFERENCIADA,PIROCLASTICOS	LIMOSO	Tierra agropecuaria	C	78	8424,209708	657088,357251
gon ZM	DEPOSITO ALUVIAL	FRANCO ARENOS	Tierra agropecuaria	A	49	301,556692	14776,277893
gon ZM	TERRAZAS ALUVIALES	FRANCO ARENOS	Tierra agropecuaria	B	69	900,078355	62105,406513
gon ZM	LAVA INDIFERENCIADA,PIROCLASTICOS	LIMOSO	Vegetación herbácea y arbustiva	C	74	18806,136962	1391654,13515
gon ZM	DEPOSITOS GLACIALES	FRANCO LIMOSO	Vegetación herbácea y arbustiva	B	61	4596,295481	280374,024364
gon ZM	DEPOSITO COLUVIAL	FRANCO LIMOSO	Vegetación herbácea y arbustiva	A	42	180,199046	7568,35993
gon ZM	DEPOSITO ALUVIAL	NO APLICABLE	Zona antrópica	A	86	25,123628	2160,631993

Figura 3.9 Tabla de atributos del CN, de la cuenca del río Papallacta 2007

En la figura 3.10, se muestra el número de curva de la cuenca del río Papallacta para el año 2017, y como se encuentran distribuidos en la cuenca, mientras que en la figura 3.11, se observa la tabla de atributos obtenida con el ArcGIS, para determinar las características que le corresponden a cada número de curva.



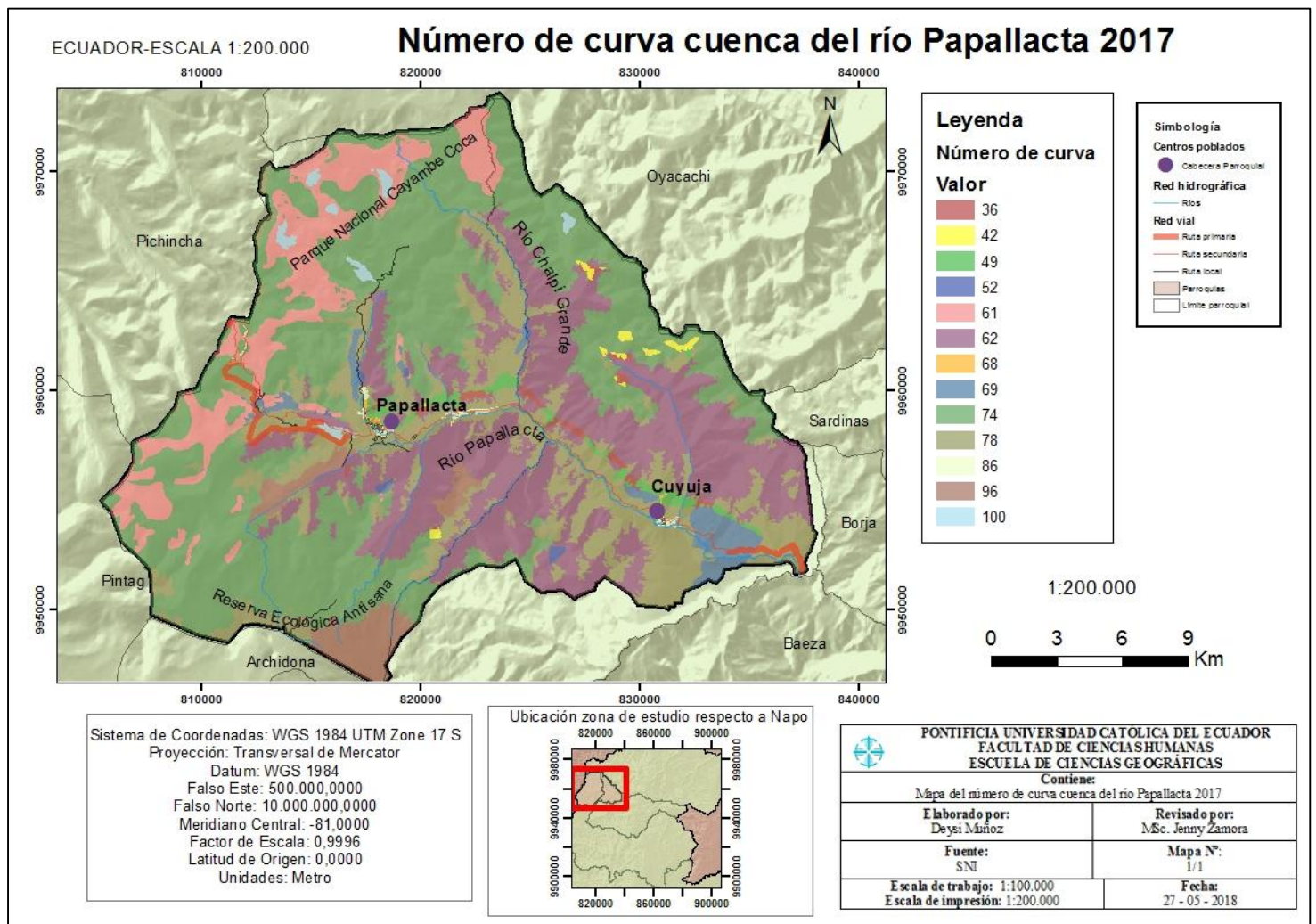


Figura 3.10 Mapa del número de curva cuenca del río Papallacta 2017

LITOLOGIA	TexS	text	CLASES H	area	CN A	MULT
DEPOSITO ALUVIAL	FRANCO ARENOS	Zona antrópica	A	32,079284	68	2181,391281
TERRAZAS ALUVIALES	FRANCO ARENOS	Bosques	B	101,179584	52	5261,338344
DEPOSITO COLUVIAL	FRANCO LIMOSO	Vegetación herbácea	A	175,882036	42	7387,045504
DEPOSITO ALUVIAL	FRANCO ARENOS	Bosques	A	309,907291	36	11156,662476
LAVA INDIFFERENCIADA,PIROCLASTICOS	FRANCO LIMOSO	Zona antrópica	C	167,894119	86	14438,894197
DEPOSITO ALUVIAL	FRANCO ARENOS	Agropecuaria	A	559,227217	49	27402,133609
	NO APLICABLE	Cuerpo de agua	C	326,579252	100	32657,925189
TERRAZAS ALUVIALES	FRANCO ARENOS	Agropecuaria	B	1069,227953	69	73776,728767
	FRANCO	Eriales	C	1564,074639	96	150151,165302
DEPOSITOS GLACIARES	FRANCO LIMOSO	Vegetación herbácea	B	4586,155479	61	279755,484214
LAVA INDIFFERENCIADA,PIROCLASTICOS	LIMOSO	Agropecuaria	C	9302,857617	78	725622,894147
	LIMOSO	Bosques	C	12257,409495	62	759959,38868
LAVA INDIFFERENCIADA,PIROCLASTICOS	LIMOSO	Vegetación herbácea	C	19682,030298	74	1456470,242087

Figura 3.11 Tabla de atributos del CN, de la cuenca del río Papallacta 201

Para obtener el número de curva de toda la cuenca hay que multiplicar el número de curva por su área, se suman todos los productos y se divide para la sumatoria del área de la cuenca. En la tabla 3.7, se presenta en número de curva obtenido a nivel de toda la cuenca para el año 2007 y 2017.

$$CN = \frac{E \cdot CN \cdot A}{A}$$

Tabla 3.7 Número de curva 2007 y 2017

Año	Número de Curva
2007	70
2017	71

### 3.6.2. Determinación del volumen de escorrentía

Para determinar el volumen de escorrentía según el CSC, se utiliza la siguiente formula:

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

Dónde:

$Q$ = lluvia efectiva

$P$ = precipitación

$S$ = potencial máximo de retención

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254$$

Dónde:

$S$ = potencial máximo de retención

$CN$ = número de curva

**Año 2007**

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254$$

$$S = \frac{25.400}{70} - 254$$

**S=108,85**

**Año 2017**

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254$$

$$S = \frac{25.400}{71} - 254$$

**S=103,74**

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

$$Q = \frac{(1.378,94 - 0,2(108,85))^2}{1.378,94 + 0,8(108,85)}$$

$$Q = \frac{(1.378,94 - 0,2(103,74))^2}{1.378,94 + 0,8(103,74)}$$

$$Q=1.256,40$$

$$Q=1.261,81$$

### 3.7. Elaboración de hidrogramas.

Para elaborar los hidrogramas se utiliza el programa HEC-HMS 4.3 y para estimar el caudal máximo y el hidrograma de crecida, se utiliza el método de la SCS, de un hidrograma triangular. El hidrograma triangular permite calcular el caudal máximo, el tiempo base y el tiempo máximo conociendo el volumen escurrido y el tiempo de concentración (CSC, 1975). En la tabla 3.8, se presentan los datos de entrada para elaborar el hidrograma propuesto por la SCS, y la figura 3.12, los pasos para configurar el HEC-HMS 4.3 y obtener los caudales.

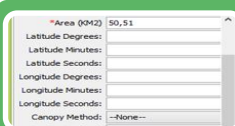
Tabla 3.8 Datos de entrada para la elaboración de hidrograma SCS

Datos	Ecuación	Resultados
Área	-----	50,51 km
Volumen escurrido 2007	$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$ <p>Fuente: CSC</p>	1.256,40
Volumen escurrido 2017	$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$ <p>Fuente: CSC</p>	1.261,81

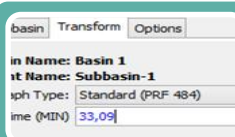
Tiempo de concentración	$t_c = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$ <p><math>L</math>=longitud del cauce principal en m</p> <p><math>H</math>= diferencia de altura máxima y mínima de la cuenca en m.</p> <p>Fuente: Kirpich</p>	49,34
Tiempo al máximo	<p><math>Tp=0,67*t_c</math></p> <p>Fuente: SCS</p>	33,06



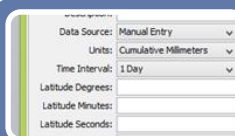
- Se trae el shape de la cuenca y la red de drenaje
- Se coloca el punto de desfogue de la cuenca por donde va escurrir el agua.



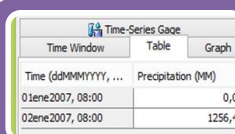
- Se coloca el área de la cuenca
- Se selecciona el método de hidrograma de la scs



- Para transformar la precipitación efectiva a escorrentía en  $m^3$ , se coloca como datos de entrada el área y se selecciona el método del diagrama unitario de la CSC, finalmente se coloca el tiempo máximo.



- Para colocar la precipitación efectiva obtenida anteriormente con em método del número de curva, se selecciona el intervalo de lluvia de un día.



- Se coloca el dato de 1.256,40 para el 2007 y 1.261,81 para el 2017. Se crea el modelo meteorológico la especificación de control y se corre el programa.

Figura 3.12 Configuración programa HECH-HMS 4.3



Lo que le estamos pidiendo al programa es que con una precipitación efectiva de 1.256,40 *mm* y 1.261,81 *mm*, con un tiempo máximo de 33,09 minutos, nos genere el caudal máximo de la cuenca en un intervalo de 24 horas es decir un día.

### **3.8. Resultados**

#### **3.8.1. Relleno de pixeles perdidos**

En la figura 3.13, se observa los resultados del relleno de pixeles de la imagen Landsat del 2007, después de utilizar la herramienta Landsat Gap Fill, que constituye una extensión del programa ENVI 5.3, como se observa se tiene una mejor visualización de la imagen.

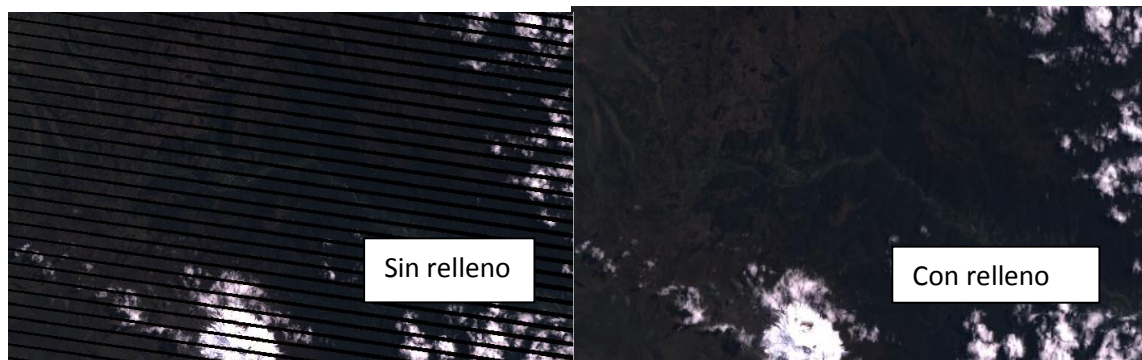


Figura 3.13 Imagen Landsat 7, 2007, antes y después del relleno de pixeles

#### **3.8.2. Corrección radiométrica y atmosférica**

En la figura 3.14 y 3.15, se observa la imagen del 2007 y 2018, respectivamente antes y después de la corrección radiométrica y atmosférica, donde los valores digitales de la imagen se transformaron a niveles de radiancia pudiendo mejorar la visualización de los elementos del terreno.

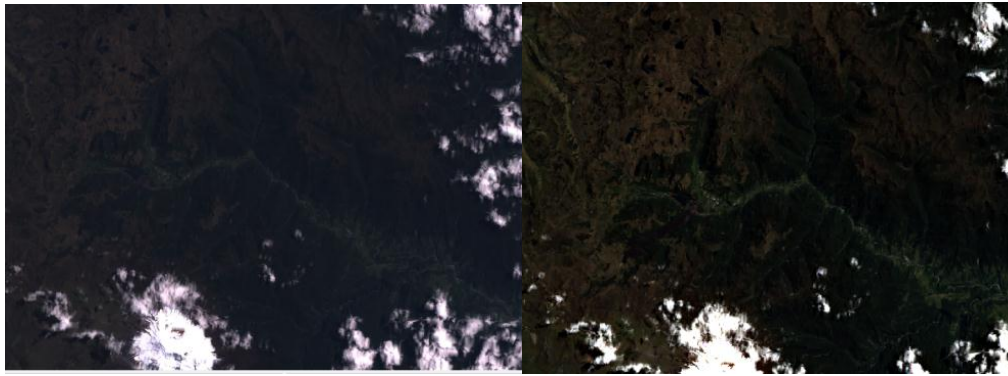


Figura 3.14 Imagen Landsat 7, 2007, antes y después de la corrección radiométrica y atmosférica

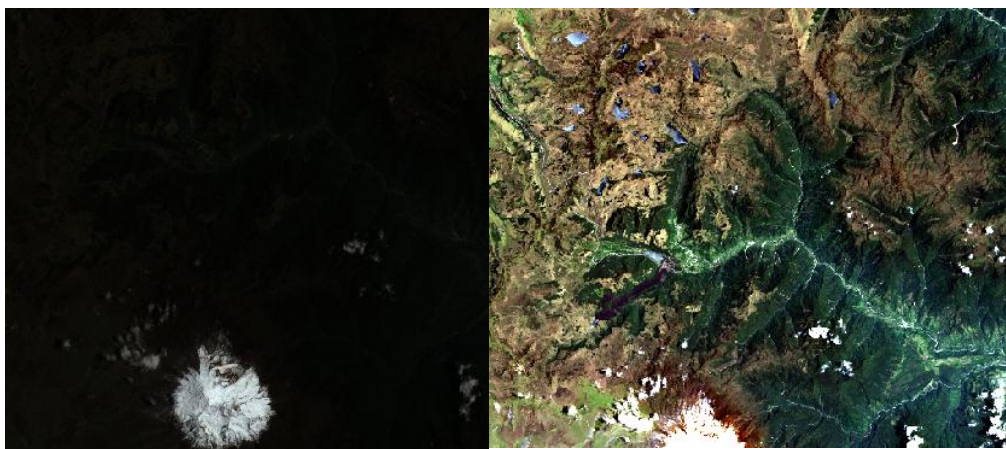


Figura 3.15 Imagen Landsat 8, 2017 antes y después de la corrección radiométrica y atmosférica.

### 3.8.3. Enmascaramiento de nubes

En la figura 3.16, se observa las nubes enmascaradas después de usar el método de componentes principales en la imagen del 2007 y 2017, este proceso nos permitió diferenciar las nubes de los nevados.

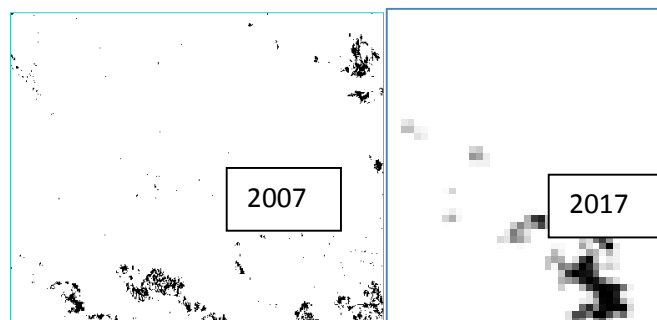
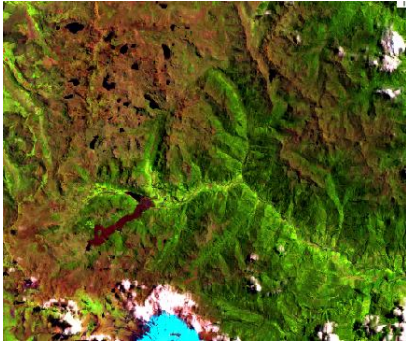








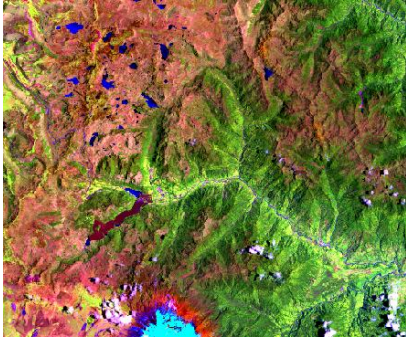










Figura 3.16 Enmascaramiento de nubes Imagen Landsat 7 y 8.

### 3.8.4. Composición de bandas

En la tabla 3.9, se observa la composición de bandas que se requieren para poder clasificar los elementos presentes en el terreno, donde los colores presentes representan a los diferentes elementos.

Tabla 3.9 Composición de bandas

Año	Composición	Descripción de colores
2007	5-4-3 	 nieve  vegetación herbácea y arbustiva  bosques  pastos y cultivos  zonas antrópicas  suelos desnudos, afloramientos rocosos  nubes  cuerpos de agua
2017	6-5-2 	 nieve  vegetación herbácea y arbustiva  bosques  pastos y cultivos  zona antrópica  suelos desnudos, afloramientos rocosos  nubes  cuerpos de agua



### 3.8.5. Selección de muestras

Para la imagen del 2007 se tomó un total de 21 muestras distribuidas en la leyenda previamente seleccionada, mientras que, para la imagen del 2017, se tomaron 18 muestras, con alrededor de tres muestras por cada clase. En la figura 3.17, se observa cómo se tomaron las muestras para el 2007 y 2017. El número máximo de muestras por clase fue de 5 y el mínimo de 3 muestras.

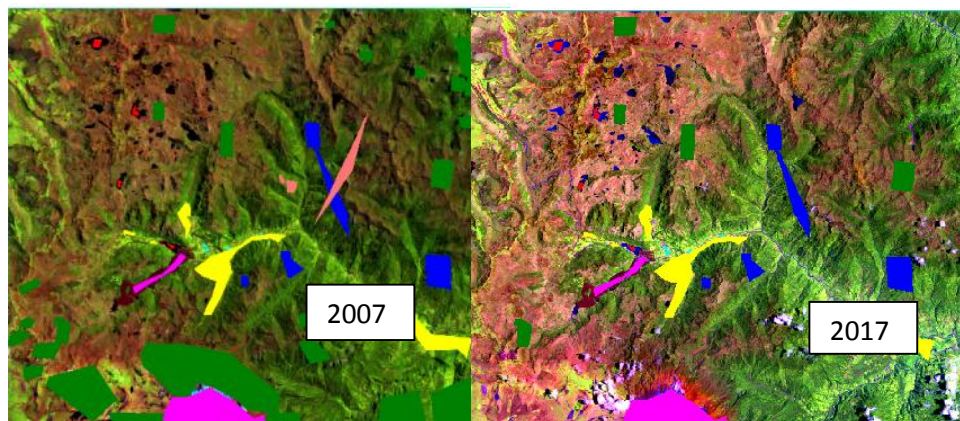


Figura 3.17 Selección de muestras imágenes Landsat

### 3.8.6. Clasificación supervisada

En la figura 3.18, se observa el resultado de clasificación de píxeles por máxima probabilidad o vecino cercano para el 2007 y 2017 de la cuenca del río Papallacta.

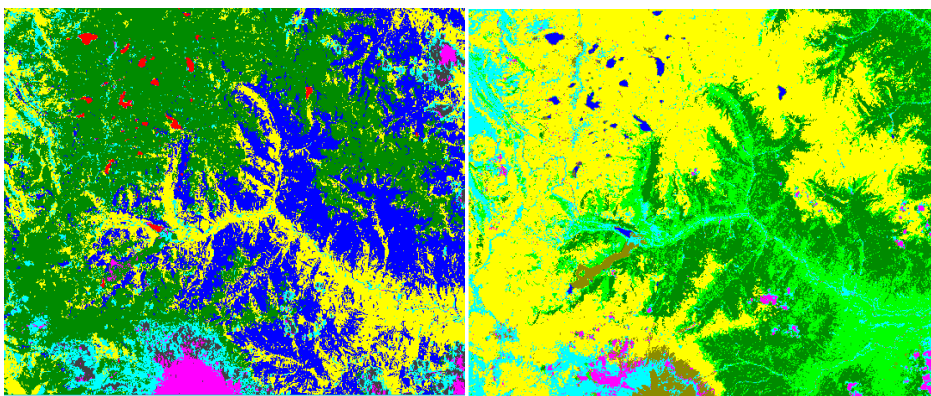


Figura 3.18 Clasificación supervisada por la máxima probabilidad o vecino más cercano

### 3.8.7. Matriz de confusión

Para poder realizar la matriz de confusión se tuvieron que transformar los puntos de control tomados por GPS a regiones de interés en el programa ENVI 5.3.

Se tomaron 15 puntos de referencia distribuidos para cada clase de la leyenda temática que se le da previamente a la elaboración de los mapas de cobertura y uso del suelo. Los puntos se levantaron con el GPS Garmin, el día jueves 12 de abril del 2018 y se presentan en la tabla 3.10, fueron tomados a lo largo de la vía Papallacta Baeza (ver en anexo 5).

Tabla 3.10 Puntos de control levantados en campo

<b>Punto</b>	<b>Nombre_referencia</b>	<b>Coordenada UTM</b>
1	Parada de buses	E: 824.739,69 N: 9.953.541,52
2	Restaurante	E: 818.253,00 N: 9.958.290,00
3	Petroecuador	E: 821.865,00 N: 9.958.967,00
4	Laguna Papallacta	E: 816.136,00 N: 9.958.046,00
5	Bosque_uno	E: 820.314,00 N: 9.958.715,00
6	Flujo_Antisanilla	E:816.557,00 N: 9.957.397,00
7	Agropecuario_uno	E: 817.478,00

		N: 9.958.021,00
8	Agropecuario_dos	E: 819.633,00 N: 9.957.964,00
9	Cuyuja	E: 831.069,00 N: 9.954.148,00
10	Páramo_uno	E: 812.526,51 N: 9.960.915,51
11	Páramo_dos	E: 811.503,00 N: 9.962.826,00
12	Bosque_dos	E: 825.621,76 N: 9.958.935,51
13	Bosque_tres	E: 814.932,07 N: 9.958.038,48
14	Agropecuario_tres	E: 828.686,64 N: 9.955.123,11
15	Parada Papallacta	E: 818.445,46 N: 9.958.337,49

➤ **Matriz de confusión 2007**

Como se observa en la figura 3.19, se obtiene un índice de Kappa de 0,59, que según las categorías propuestas por Lenddis, 1997, determina una clasificación buena (ver en anexo 6).

Confusion Matrix: C:\Users\usuario\Desktop\procesamiento\vecino\_cercano

Overall Accuracy = (986/1411) 69.9503%  
 Kappa Coefficient = 0.5974

Class	puntos_dos	[Npuntos_dos	[Npuntos_dos	[Npuntos_dos	[Npuntos_dos	[N
Unclassified	0	0	0	0	0	0
ROI #1	167	0	0	0	0	0
ROI #2	0	284	30	1	2	0
ROI #3	0	12	139	22	0	0
ROI #4	0	4	7	322	47	0
ROI #5	1	5	0	6	20	0
ROI #6	2	0	0	0	0	0
Total	170	305	176	351	69	

Class	puntos_dos	[N	Total
Unclassified	0	0	0
ROI #1	0	167	0
ROI #2	316	633	0
ROI #3	0	173	0
ROI #4	0	380	0
ROI #5	0	32	0
ROI #6	24	26	0
Total	340	1411	

Class	puntos_dos	[Npuntos_dos	[Npuntos_dos	[Npuntos_dos	[Npuntos_dos	[N
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ROI #1	98.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ROI #2	0.00	93.11	17.05	0.28	2.90	0.00
ROI #3	0.00	3.93	78.98	6.27	0.00	0.00
ROI #4	0.00	1.31	3.98	91.74	68.12	0.00
ROI #5	0.59	1.64	0.00	1.71	28.99	0.00
ROI #6	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	puntos_dos	[N	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00
ROI #1	0.00	11.84	0.00
ROI #2	92.94	44.86	0.00
ROI #3	0.00	12.26	0.00
ROI #4	0.00	26.93	0.00
ROI #5	0.00	2.27	0.00
ROI #6	7.06	1.84	0.00

Figura 3.19 Matriz de confusión 2007

## ➤ Matriz de confusión 2017

Overall Accuracy = (1380/1411) 97.8030%  
 Kappa Coefficient = 0.9725

Class	puntos_dos	[Npuntos_dos	[Npuntos_dos	[Npuntos_dos	[Npuntos_dos	[N
Unclassified	0	0	0	0	0	0
Agropecuaria	349	0	0	5	5	0
Erial	0	340	8	0	0	0
Cuerpo de agu	0	0	161	0	0	0
Vegetacion he	0	0	0	297	0	0
Antropica	0	0	1	0	64	0
Bosque	2	0	0	3	0	0
Total	351	340	170	305	69	

Class	puntos_dos	[N	Total
Unclassified	0	0	0
Agropecuaria	3	362	0
Erial	0	348	0
Cuerpo de agu	0	161	0
Vegetacion he	4	301	0
Antropica	0	65	0
Bosque	169	174	0
Total	176	1411	

Class	puntos_dos	[Npuntos_dos	[Npuntos_dos	[Npuntos_dos	[Npuntos_dos	[N
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Agropecuaria	99.43	0.00	0.00	1.64	7.25	0.00
Erial	0.00	100.00	4.71	0.00	0.00	0.00
Cuerpo de agu	0.00	0.00	94.71	0.00	0.00	0.00
Vegetacion he	0.00	0.00	0.00	97.38	0.00	0.00
Antropica	0.00	0.00	0.59	0.00	92.75	0.00
Bosque	0.57	0.00	0.00	0.98	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	puntos_dos	[N	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00
Agropecuaria	1.70	25.66	0.00
Erial	0.00	24.66	0.00
Cuerpo de agu	0.00	11.41	0.00
Vegetacion he	2.27	21.33	0.00
Antropica	0.00	4.61	0.00
Bosque	96.02	12.33	0.00

Figura 3.20 Matriz de confusión e índice de capa 2017

Se seleccionaron los 15 puntos y se les comparo con las muestras de cada clase. Como se observa en la Figura.13. Obtenemos un índice de capa de 0,97, como se puede observar en la figura 3.20, donde según las categorías propuestas por Landdis, 1977, determina una clasificación de excelente calidad (ver en anexo 5).

### 3.8.8. Cobertura y uso del suelo

Una vez clasificadas las imágenes y depuradas cartográficamente se obtienen los resultados en cuanto a la cobertura y uso del suelo que presentan en la tabla 3.11, con la superficie en hectáreas y el porcentaje que ocupan dentro de la cuenca del río Papallacta para el año 2007 y 2017.

Tabla 3.11 Áreas de cobertura y uso del suelo, años 2007 y 2017

<b>Cobertura</b>	<b>Año 2007</b>		<b>Año 2017</b>	
	Área(ha)	%	Área(ha)	%
Cuerpos de agua	303,02	0,6	326,57	0,65
Vegetación arbustiva y herbácea	23.416,23	46,70	24.444,06	48,75
Bosque	15.020,52	29,95	11.933,13	23,80
Tierra agropecuaria	9.626,85	19,20	12.383,34	24,69
Zona antrópica	25,12	0,07	219,10	0,43
Eriales	1.745,01	3,48	1.564,07	3,11
<b>Total</b>	<b>50.136,76</b>	<b>100</b>	<b>50.136,76</b>	<b>100</b>



Como se puede observar en la tabla 3.11, los cambios en la cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Papallacta, se dieron en la vegetación herbácea y arbustiva representada por páramos que aumento su superficie un 2%, en la cobertura y uso del suelo bosque, se evidencia una disminución de su superficie en un 6%, la tierra agropecuaria representada por pastos y cultivos ha incrementado su superficie en un 5%, la zona antrópica incremento en un 0,4% y en los eriales no se evidencia grandes cambios en cuanto a su superficie. La disminución de la superficie de bosques puede relacionarse con el aumento de la superficie antrópica y agropecuaria, debido a que en el periodo de 10 años en la cuenca del río Papallacta, existe una dinámica de transición del uso suelo debido a una serie de actividades relacionadas con la agricultura, ganadería y centros poblados.

#### **3.8.9. Estimación de umbrales de escorrentía y su distribución espacial.**

Para la estimación de los umbrales de escorrentía en la cuenca del río Papallacta del año 2007 y 2017, se saca los datos mediante la fórmula de la SCS, que convierte la precipitación neta en precipitación efectiva o escorrentía ( $Q$ ), en la tabla 3.12, y 3.13 se presentan los umbrales calculados para el 2007 y 2017. Una vez obtenidos los umbrales de escorrentía se realiza un intersect de las capas 2007 y 2017 con la herramienta ArcGIS, para determinar las zonas en la cuenca donde habido aumento, disminución o se ha mantenido la escorrentía, dando como resultados los que se observan en la figura 3.21, donde para el año 2007, la mayor parte de la superficie de la cuenca presenta una escorrentía de 1.209 a 1.379  $mm$  ocupando 46.665,64  $ha$ , estas zonas están vinculadas a alta permeabilidad, constituidas por cobertura y uso del suelo de páramos y bosques, suelos arenosos y gravas, seguida de 1.033 a 1.208  $mm$  con 1.544,28  $ha$ , formada por suelos agropecuarios y centros poblados, y de 954 a 1032  $mm$  con un total de 1.924,5  $ha$ , representada por afloramientos rocosos, glaciares y eriales. En la figura 3.22, se observa la distribución espacial de la escorrentía para el 2017, la mayor parte de la superficie de la cuenca presenta una escorrentía de 1.209 a 1.379  $mm$  ocupando 46.497,01  $ha$ , seguida de 1.033 a 1.208  $mm$  con 1.897,52  $ha$  y de 954 a 1.032  $mm$  con un total de 1.747,89  $ha$ .

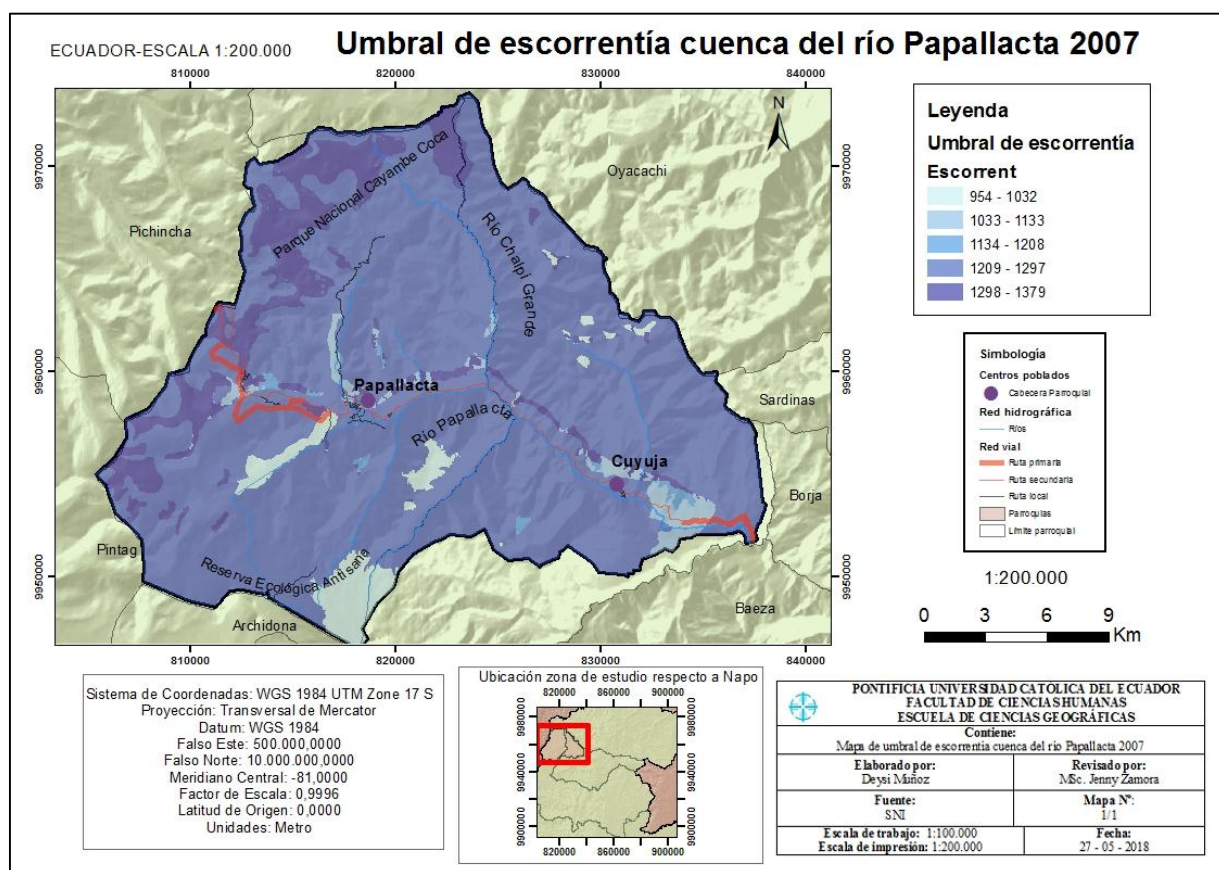


Figura 3.21 Mapa de umbrales de escorrentía cuenca del río Papallacta 2007

Tabla 3.12 Umbrales de escorrentía 2007

NC	S	Q (mm)	Área (ha)	%
36	10,58	1.366,32	593,52	1,18
42	451,56	954,25	180,19	0,36
49	234,46	1.132,68	301,55	0,60
52	155,68	1.208,25	314,13	0,63
61	0,00	1.378,94	4.596,29	9,16
62	71,64	1.296,54	13.979,74	27,87
69	264,37	1.105,64	900,07	1,79
74	114,12	1.250,86	18.806,13	37,49
78	89,24	1.277,34	8.424,20	16,79
86	162,39	1.201,55	25,12	0,05
96	350,76	1.032,16	1.774,39	3,54
100	41,35	1.330,53	271,72	0,54
Total			50.134,50	100,00

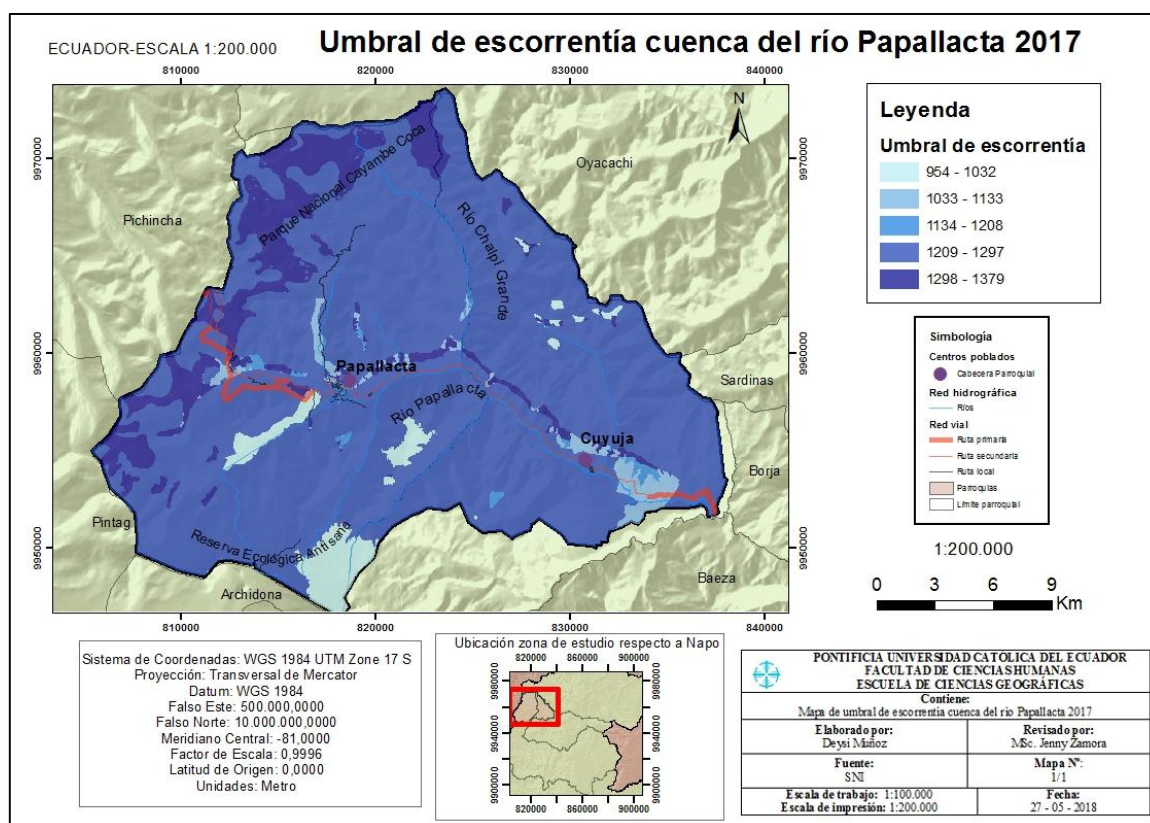


Figura 3.22 Mapa de umbrales de escorrentía 2017

Tabla 3.13 Umbrales de escorrentía 2017

NC	S	Q (mm)	Área (ha)	%
36	10,58	1.366,32	309,9	0,62
42	451,56	954,25	175,88	0,35
49	234,46	1.132,68	559,22	1,12
52	155,68	1.208,25	101,17	0,20
61	0,00	1.378,94	4.586,15	9,15
62	71,64	1.296,54	12.257,4	24,45
68	119,53	1.245,19	32,07	0,06
69	264,37	1.105,64	1.069,22	2,13
74	114,12	1.250,86	19.682,03	39,26
78	89,24	1.277,34	9.302,85	18,56
86	162,39	1.201,55	167,89	0,33
96	350,76	1.032,16	1.564,07	3,12
100	41,35	1.330,53	326,57	0,65
Total			50.134,42	100

Durante el periodo de diez años se puede observar en la figura 3.23, que el umbral de escorrentía se mantiene en la cuenca del río Papallacta por lo tanto la producción de escorrentía se ha mantenido; sin embargo, se evidencia la tendencia a un aumento de la producción de la escorrentía debido a la disminución del umbral de escorrentía, en zonas donde se incrementó la superficie agropecuaria y la zona antrópica. La escorrentía se mantuvo en el ocupando el 83,09 % de la superficie de la cuenca con 41.657,90 *ha*, la disminución de la escorrentía ocurre en 10,59% de la cuenca con 5.310,79 *ha* y finalmente la escorrentía aumenta en el 6,32% de la cuenca con 3.165,80 *ha*.

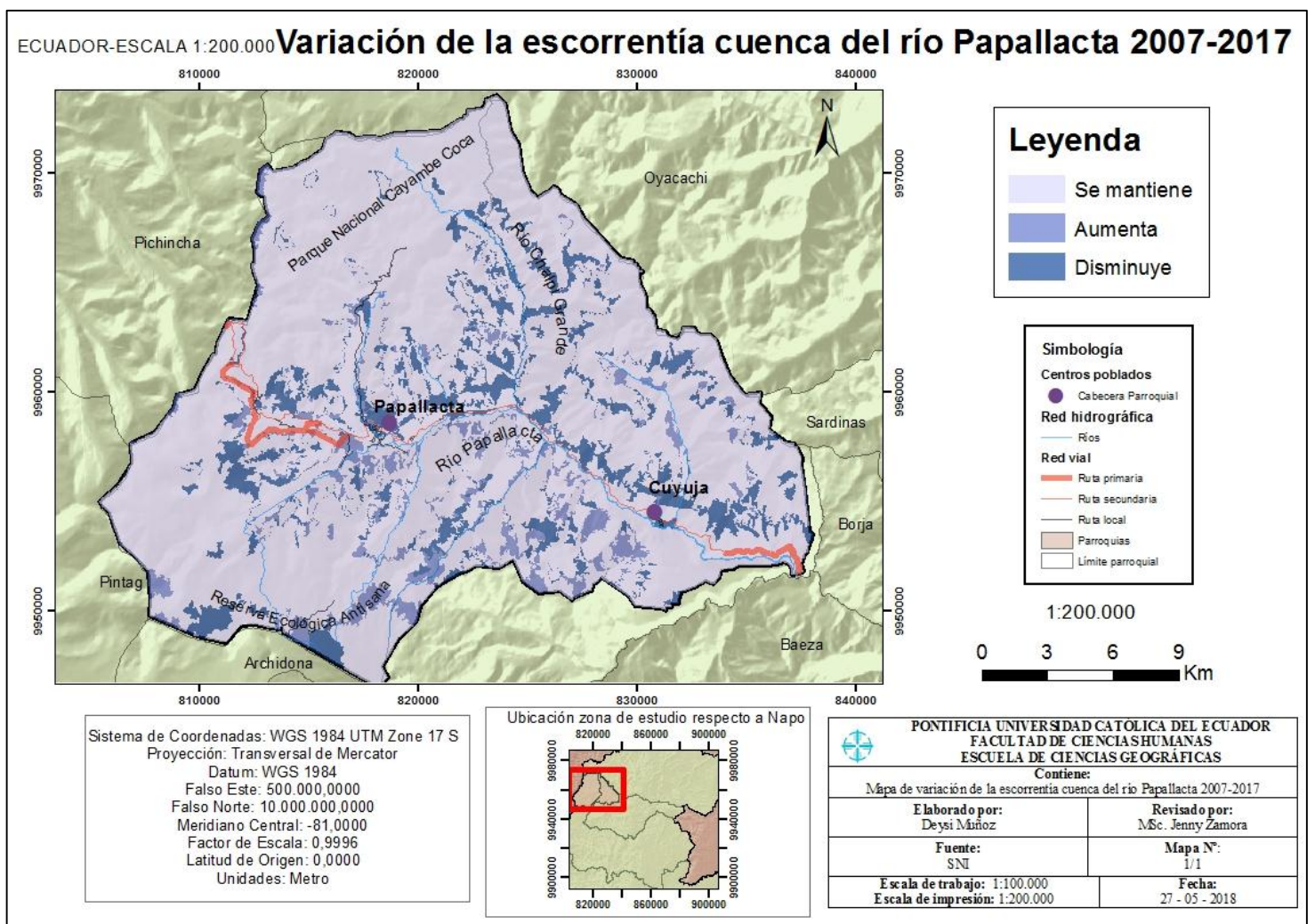


Figura 3.23 Mapa de variación umbral de escorrentía 2007-2017



### 3.8.10. Caudales máximos e hidrogramas

- Para el año 2007, la producción de escorrentía en la cuenca del río Papallacta es de 1.256,40 mm, que al transformar este volumen expresado en altura de aguas es de 545,7 m<sup>3</sup>/s, en la figura 3.24, se presenta el gráfico del hidrograma.

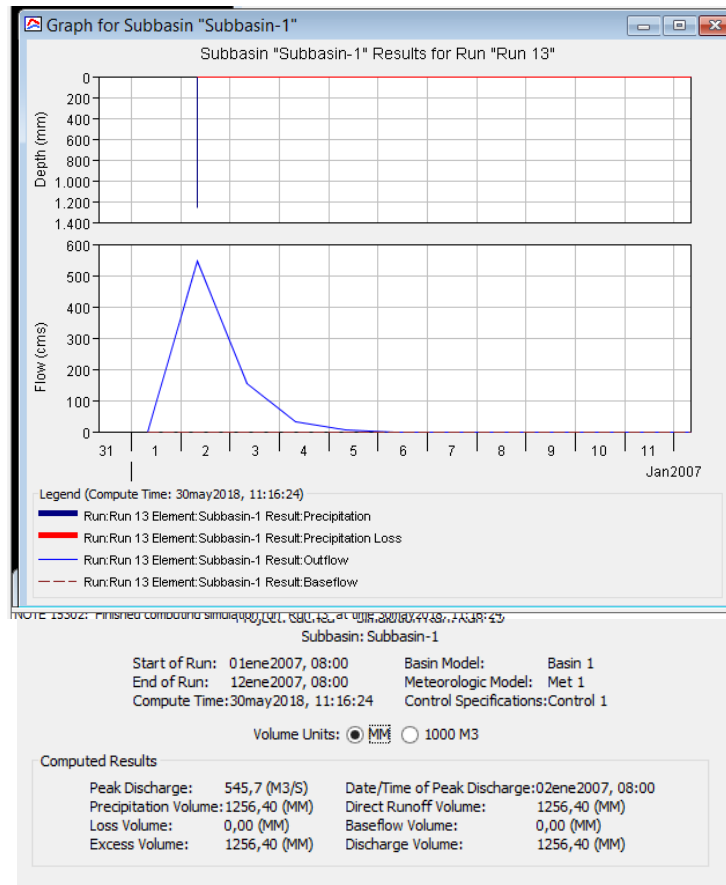


Figura 3.24 Hidrograma escorrentía 2007

- Para el año 2017 el umbral de escorrentía en la cuenca del río Papallacta es de 1.261,81 mm, que al transformar este volumen expresado en altura de aguas es de 548,0 m<sup>3</sup>/s, como se observa en la figura 3.25. El caudal máximo que se obtiene a los 33,09 minutos desde que inicia el escurrimiento.

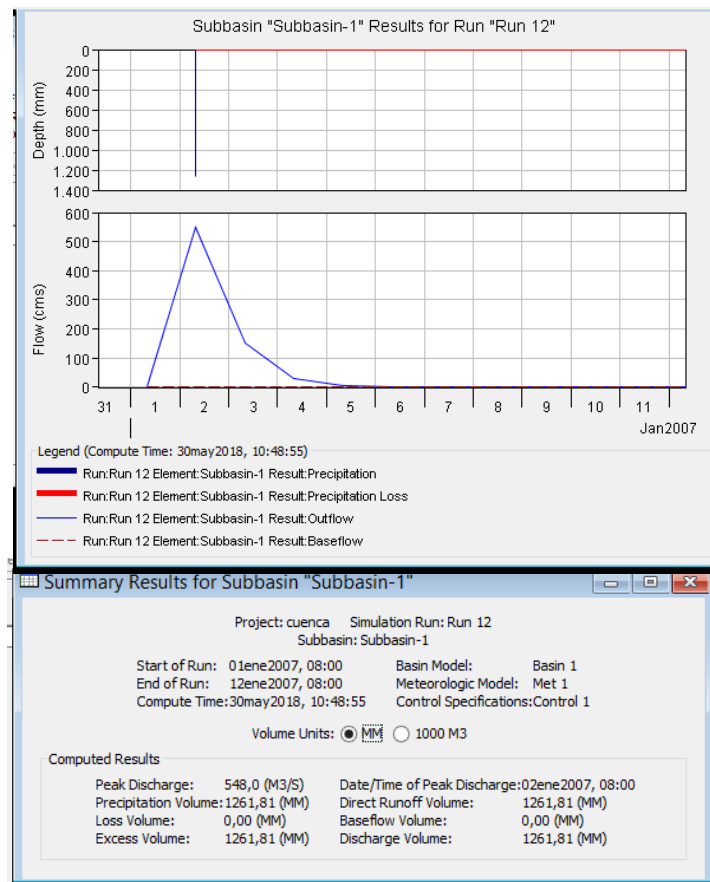


Figura 3.25 Hidrograma escorrentía 2017

Una vez calculado el hidrograma con el caudal máximo expresado en nivel de aguas podemos calcular el tiempo base del hidrograma aplicando la siguiente formula:

$$Tb=2,67tp$$

$$Tb=2,67*33,09$$

$$Tb=88,35\text{minutos}$$

El tiempo que transcurre desde el inicio del escurrimiento hasta el final es de 88,35 minutos.

### 3.8.11. Variación de la escorrentía y uso del suelo en la funcionalidad de la cuenca

Para obtener este valor se obtuvo el número de curva de la cuenca correspondiente a cada año, como el periodo de estudio es de diez años, el número de curva de la

cuenca se ve influenciado directamente por la cobertura y el uso del suelo y la superficie que ocupa cada categoría. En la cuenca del río Papallacta no existe una transición muy marcada de cambio de cobertura y uso del suelo, por lo que los resultados de la curva de número arrojan un valor de 70 para el 2007 y 71 para el 2017. Estos valores van influenciar en el resultado de la estimación del volumen de escorrentía a nivel de toda la cuenca.

Para el año 2007, los bosques ocupaban una superficie de 29,95%, esta situación cambio para el 2017, donde su superficie se redujo al 23,80%, y encontraste las tierras agropecuarias y las zonas antrópicas incrementaron su superficie en 5% y 0,4% respectivamente. Estos cambios han influenciado en la producción de escorrentía directa. Al obtener los umbrales de escorrentía para el año 2007 y 2017 se puede determinar que la producción de escorrentía de la cuenca se mantiene en el 83,09 % de la superficie de la cuenca, la producción de escorrentía tiende aumentarse 10,59% por el incremento de zonas antrópicas y superficie agropecuaria y finalmente la producción de escorrentía se redujo en 6,32% en zonas donde se recuperó la vegetación herbácea y arbustiva

La producción de escorrentía a nivel de toda la cuenca estimada para el año 2007 es de 1.256,40 *mm* y la del 2017, 1.261,8 *mm*, lo que demuestra que hay una tendencia de aumento de escorrentía de 5 *mm*, los caudales máximos estimados para el 2007 son de 545,7 *m*<sup>3</sup>/*s* y del 2017, 548,0 *m*<sup>3</sup>/*s*, incrementándose 2,3 *m*<sup>3</sup>. Esta tendencia bajo las mismas condiciones de lluvia demuestra que también existe un incremento del flujo superficial. El hidrograma de escorrentía para la cuenca del río Papallacta demuestra que la intensidad de la lluvia es mayor a la capacidad de infiltración, por lo que se obtiene un escurrimiento directo ya que el agua subterránea no es recargada, si la tendencia de escorrentía va en aumento, el nivel freático de los acuíferos presentes en la cuenca, pueden disminuir afectando a las recargas de agua.

En la cuenca del río Papallacta el incremento de la producción de escorrentía ocurre en los centros poblados y las zonas agropecuarias que se pueden ver afectadas ya que cuando el agua no puede filtrarse en la cuenca, este se dirige a corrientes de drenaje generando nuevos procesos como erosión y sedimentación, así como también arrastrar contaminantes que pueden alcanzar fuentes de agua, captadas para el uso y consumo humano.

## **CAPÍTULO IV**

### **DETERMINACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA MANTENER LA FUNCIONALIDAD DE LA CUENCA**

#### **4.1. Manejo y gestión de cuencas en el Ecuador**

Para poder establecer las estrategias que permitan mantener la funcionalidad de la cuenca del río Papallacta, es necesario contar con información de las experiencias de manejo y gestión de cuencas que se han llevado a cabo en el Ecuador, para ello se trabaja con el informe elaborado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en el 2014, que recoge las experiencias del manejo y gestión de las cuencas en el Ecuador.

El informe de FAO para el Ecuador, revela los siguientes datos en cuanto al manejo y gestión de cuencas:

- Evolución desde la planificación vertical sectorialista hasta manejo participativo y gestión integral.
- Controlar problemas de dotación de agua potable para consumo humano, riego e hidroeléctricas.
- Tiende a buscar el equilibrio entre la conservación y el uso de los bienes y servicios que genera la cuenca.
- Existe avances en las empresas semipúblicas como los municipios con iniciativas en zonas de recarga hídrica.
- Las iniciativas privadas son escasas.
- Los mecanismos de manejo y gestión de la cuenca deben ser sostenibles no solo desde lo ambiental sino desde lo económico.
- Ley de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua es el instrumento de gobernanza del cual se derivan las políticas y estrategias del manejo del recurso agua.
- Ejecutar actividades con la población y sus líderes.
- Promover el manejo y gestión involucrado de la población.
- Reconocer las costumbres locales y el entorno natural.



- Elaboración de indicadores que permitan la evaluación de las actividades ejecutadas.

La FAO, propone en el manejo y gestión de cuencas, una serie de elementos como: identificación de actores, sensibilización, diagnóstico, identificación de problemas, plan de manejo, sensibilización, participación ciudadana, estrategias de implementación, financiamiento y monitoreo

Con esta información proporcionada por la FAO, se puede tener una base para poder diseñar estrategias que mantengan la funcionalidad de la cuenca, basándonos en la participación ciudadana que constituye uno de los elementos para el manejo y gestión de cuencas propuestos por la FAO; es decir la producción de bienes y servicios que ofrece la misma pensando siempre en la capacidad de producción que tiene la misma para poder llevar a cabo su uso racional.

Actualmente la cuenca del río Papallacta no posee un documento directriz de manejo y gestión de su cuenca hidrográfica, sin embargo, se han llevado a cabo acciones con énfasis en el aprovechamiento de agua para consumo humano y generación de energía por parte de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Parroquiales de Papallacta, Cuyuja y otras instituciones como EPMAPS y Ecoluz.

En el presente trabajo se propone un acercamiento al manejo y gestión de la cuenca del río Papallacta mediante el diseño de estrategias que permitan mantener la funcionalidad de la cuenca basándose en el diagnóstico de la situación actual de la cuenca, propuestas de actuación y elaboración de planes de acción. Las estrategias que se proponen están basadas en la participación ciudadana de los actores presentes de la cuenca de la parte alta, sector Papallacta, debido a que ellos se encuentran identificados y organizados; así como a su vez se reunieron para participar y establecer las acciones que se pueden llevar en la cuenca.

## **4.2. Diagnóstico de la situación**

Para obtener el diagnóstico de la situación actual de cuenca del río Papallacta, se trabaja con el capítulo II, donde se ha obtenido información del PDOT de

Papallacta y Cuyuja, en cuanto a los factores biofísicos y socioeconómicos de la cuenca. Con este diagnóstico y con la identificación de los problemas entorno al manejo de recursos en la cuenca, se puede obtener una visión real del problema presente en la cuenca.

Para la identificación de los problemas se aplica la técnica de jerarquización de prioridades. Esta técnica consiste en identificar los problemas principales de las personas y comparar sus prioridades. Este análisis nos permitirá clarificar cuáles son nuestros objetivos, los problemas a los que tenemos que responder y cómo hacerlo.

#### 4.2.1. Jerarquización de prioridades

Para realizar la jerarquización de prioridades se siguieron los siguientes pasos:

- Selección de los actores involucrados se presentan en la tabla 4.1.

La selección de actores se la hizo de acuerdo a sectores económicos de la cuenca que se encuentran organizados socialmente entre ellos el sector ganadero, agrícola, turístico, eléctrico, dotación de agua potable, pero también se identificaron a potenciales actores del sector privado y comunidades para que se involucren en el proceso como organizaciones no gubernamentales, de cooperación nacional e internacional que trabajan en proyectos de desarrollo sustentable y conservación.

Tabla 4.1 Identificación de actores

<b>Parroquia</b>	<b>Pública y Semipública.</b>	<b>Privada</b>	<b>Representante</b>
	Junta Parroquial		Fausto Tituaña
		Asociación de servidores turísticos de Papallacta.	Laura Coro

<b>Papallacta</b>		Quesera Santa Catalina	Juan Carlos Claudio
		Asociación de Huertos Familiares Papallacta	Rebeca Manitio
		Truchas Iris	Teófilo Santacruz
		Asociación de Huertos Familiares El Tambo	Olimpia Chuquimarca
	EPMAPS		Juan Carlos Romero
		Ecoluz	Oswaldo Montenegro
		Fundación Ecológica Rumicocha	Marco Tituaña
		Fundación Terra	Roberto Merino
		Ministerio del Ambiente PRAA	Jorge Núñez
		CARE- Internacional	Andrés Córdova
		Termas Papallacta	Joaquín

			Zaldumbide
		Termales Jamanco	Juan Gonzales
		Asociación de ganaderos y productores de leche	Cesar Hidalgo
		Comuna Jamanco	Juan Gonzales
		Comunidad El Tambo	Carlos Tandayamo
<b>Cuyuja</b>	Junta Parroquial		
		Asociación de Ganaderos de Cuyuja	
		Asociación Agropecuaria Los Laureles	

Fuente: PDOT Papallacta y Cuyuja 2015.

- Mediante una entrevista con los representantes del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Papallacta se definieron cuáles son los principales problemas que se evidencian en la cuenca para las diferentes organizaciones, en cuanto al manejo de los bienes y servicios que proporciona la cuenca.

Los principales problemas que presenta la cuenca del río Papallacta se encuentran identificados en el PDOT, de Papallacta y Cuyuja, y complementando con una entrevista en GAD parroquial se mencionan los siguientes:

- Contaminación del recurso hídrico por uso doméstico y recreativo.
- El agua de consumo humano está en proceso de contaminación en algunos sectores de Papallacta, Tambo, Baños.
- Contaminación de agua y suelo por derrames accidentales de estaciones de bombeo de Petroecuador.
- Escases estacionales del agua para el consumo humano y ganadería.
- Desperdicio del recurso agua termal.
- Pérdidas de biodiversidad y funcionalidad del páramo.
- Mal uso de los recursos naturales: extracción para leña y cerca.
- Avance de la frontera pecuaria.
- Cacería furtiva fauna
- Conflicto por el uso y tenencia de la tierra.
- Degradación del recurso suelo

#### 4.2.2. Priorización de los problemas

Durante la conversación se llegó a la conclusión de que todos los problemas son importantes y se deben tomar medidas correctivas, sin embargo se los priorizo para poder tomar acciones inmediatas aquellos problemas que más afectan a la funcionalidad de la cuenca.

Una vez elaborada la lista de problemas se ordenó de acuerdo a las prioridades de las organizaciones de la cuenca buscando llegar a un acuerdo en común y se enlistaron del 1 al 5, siendo 1 el problema que más afecta a los diferentes sectores de la cuenca del río Papallacta como se observa en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Jerarquización problemática de la cuenca del río Papallacta

Prioridad	Problema
1	Contaminación del recurso hídrico

2	Escases estacionales de agua
3	Uso inadecuado de los recursos naturales
4	Degradación del suelo
5	Pérdida de biodiversidad

### 4.3. Propuestas de actuación

#### 4.3.1. Actividades

- Elaborar un árbol, de problemas que se presenta en la tabla 4.3, donde se establezcan las causas y efectos que provocan la afectación a la funcionalidad de la cuenca, para el efecto se puso como problema central la afectación a la funcionalidad de la cuenca y se buscaron las causas y consecuencias de los problemas que se enlistaron anteriormente.
- **Establecer objetivos**  
Los objetivos se van establecer en base al árbol de problemas donde el objetivo general va ser el problema central y los objetivos específicos las causas que generan el problema.
- **Definir las acciones para alcanzar los objetivos**  
Las acciones también se encuentran en base al árbol de problemas enfocados en las causas, que van a permitir encontrar la solución para evitar los efectos de la perdida de funcionalidad de la cuenca.
- **Establecer los recursos y encargados de llevar a cabo los cambios**  
Los actores involucrados en dar lugar a las acciones ya se han identificado en la tabla 4.1.

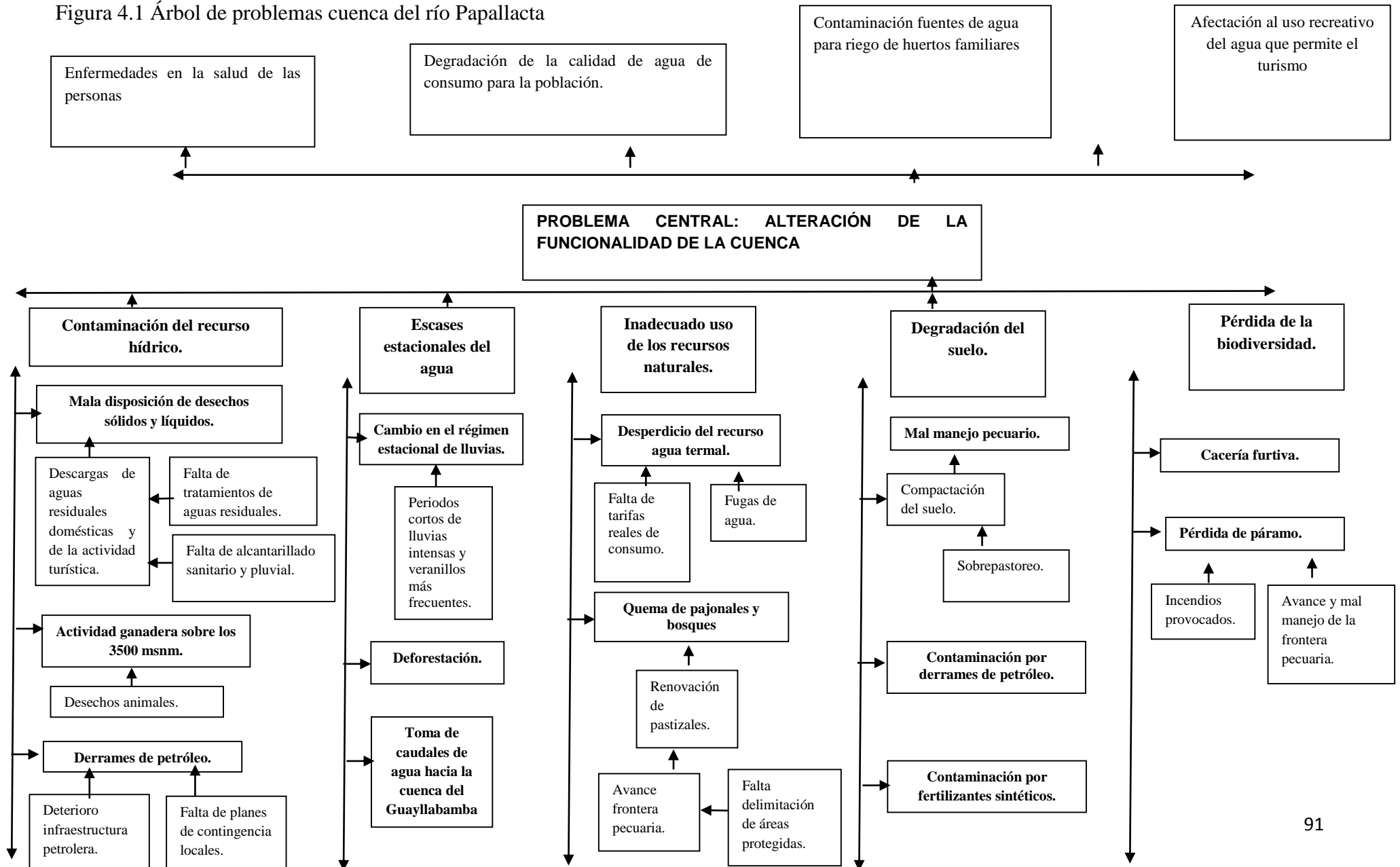
Los recursos con lo que cuenta la cuenca del río Papallacta, en la parte alta de la cuenca se presentan en la tabla 4.3, y abarcan entre ellos humanos, investigación y económicos.

Tabla 4.3 Recursos de la cuenca del río Papallacta

-Ubicación estratégica de la cuenca al contar con vertientes de agua superficial, subterránea y termal.	-Presencia de la empresa pública, privada, y no gubernamentales
- Paisaje, flora y fauna.	-Programas de Socio bosque, socio páramo y REDD (Reducción de Emisiones por degradación y deforestación) y plan de preventivo de quemas
-Estudios, investigaciones y publicaciones ambientales de la zona.	-Convenio RAMSAR Humedales
-Viveros forestales y huertos familiares.	-Presencia de proyectos (PRAA-MAE-CARE-GIZ)
-Presencia de estaciones Hidrometereológicas.	-Proyecto de cambio climático
-Presencia de proyectos hidroeléctricos y de agua potable.	

Fuente: GAD parroquial Papallacta.

Figura 4.1 Árbol de problemas cuenca del río Papallacta





➤ **Objetivo general:**

Establecer una propuesta que permita mantener la funcionalidad de la cuenca del río Papallacta mediante la elaboración de estrategias para tener un acercamiento al manejo y gestión de cuencas hidrográficas.

**Objetivos específicos:**

- Establecer acciones correctivas y preventivas para la disposición de los desechos sólidos y líquidos, pastoreo y derrames de petróleo con el fin de reducir la contaminación del recurso hídrico.
- Controlar la falta de agua estacional para garantizar la disponibilidad de agua en la cuenca del río Papallacta.
- Fomentar el uso adecuado de los recursos naturales mediante acciones que permitan reducir el desperdicio de agua termal y la quema de pajonal.
- Establecer medidas para el adecuado manejo pecuario, uso de fertilizantes y derrames de petróleo para evitar la degradación del suelo.
- Establecer acciones de control para la cacería furtiva y pérdidas de páramo con el fin de cuidar y preservar la flora y fauna.

➤ **Acciones para alcanzar los objetivos**

Las acciones se establecieron para cada objetivo con el fin de alcanzarlo, en la tabla 4.4, se presentan 5 objetivos con sus respectivas acciones.

Tabla 4.4 Objetivos y acciones en la cuenca del río Papallacta

Objetivo	Acciones
Establecer acciones correctivas y preventivas para la disposición de los desechos sólidos y líquidos, pastoreo y derrames de petróleo con el fin de reducir la contaminación	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Tratamiento y manejo de desechos sólidos y líquidos</li><li>▪ Educar a la población y al turista en la forma de disposición de los desechos sólidos.<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Monitoreo y estudios del agua.</li></ul></li><li>▪ Plan local de riesgos y contingencias construido y socializado con la población.</li><li>▪ Fortalecer el Comité de Operaciones Especiales</li></ul>

del recurso hídrico.	(COE) Parroquial.
Controlar la falta de agua estacional para garantizar la disponibilidad de agua en la cuenca del río Papallacta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Manejo de las micro cuencas importantes con sistemas de monitoreo con responsabilidad social.</li> <li>▪ Promover medidas de adaptación a los cambios del clima. <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reforestación con especies nativas.</li> <li>▪ Protección de las fuentes de agua.</li> </ul> </li> </ul>
Fomentar el uso adecuado de los recursos naturales mediante acciones que permitan reducir el desperdicio de agua termal y la quema de pajonal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Instalación de medidores y cobro de tarifas.</li> <li>▪ Estudio e implementación del sistema de agua termal. <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Energías limpias.</li> </ul> </li> <li>▪ Programas de regeneración y reproducción especies energéticas (para leña).</li> </ul>
Establecer medidas para el adecuado manejo pecuario, uso de fertilizantes y derrames de petróleo para evitar la degradación del suelo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Manejo del sistema pecuario (rotación de pastizales, división de potreros)</li> <li>▪ Capacitación y tecnificación agropecuaria. <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistemas silvopastoriles.</li> <li>▪ Incorporación de abonos orgánicos</li> </ul> </li> <li>▪ Zonificación de áreas aptas para producción pecuaria.</li> <li>▪ Fortalecer el manejo del sistema pecuario.</li> </ul>
Establecer acciones de control para la cacería furtiva y pérdidas de páramo con el fin de cuidar y preservar la flora y fauna.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Apoyo a la gestión para la definición de los límites del área protegida.</li> <li>▪ Gestión de parte del Gobierno Parroquial.</li> <li>▪ Fortalecer la implementación de un corredor ecológico. <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Quemas controladas.</li> </ul> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Capacitación en sistemas de alerta temprana (implementación de Plan Preventivo de Quemas PPQ) Ordenanzas para el manejo de páramos.</li> <li>▪ Acuerdos comunitarios para el manejo de páramos.</li> <li>▪ Priorizar las actividades de los planes de manejo de las áreas protegidas.</li> </ul>
--	---

Fuente: GAD parroquial Papallacta, PDOT Cuyuja 2015.

#### 4.4. Planes de acción

Los planes de acción recogen los objetivos, las acciones, los recursos y la identificación de actores para poder determinar específicamente como se pueda lograr mantener la funcionalidad de la cuenca del río Papallacta, las tablas 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, y 4.9, presentan los planes de acción a los cuales se les asignado nombres.

Tabla 4.5 Plan de acción para la mitigación de la contaminación del recurso hídrico.

Objetivo	Actividades	Recursos	Involucrados
Establecer acciones correctivas y preventivas para la disposición de los desechos sólidos y líquidos, pastoreo y derrames de petróleo con el fin de reducir la contaminación del recurso hídrico.	Tratamiento y manejo de desechos sólidos y líquidos.	Construcción de alcantarillado sanitario y pluvial	EPMAPS GAD, parroquial Papallacta
		Planta de tratamiento de aguas residuales el Tambo y Papallacta	
		Colocación de cercas eléctricas para controlar el ganado y evitar que se acerque	GAD, parroquial Papallacta y Cuyuja. Asociación de Ganaderos de Cuyuja y

		a las fuentes de agua.	Papallacta.
	Educar a la población y al turista en la forma de disposición de los desechos sólidos.	Campanas de concientización de clasificación de desechos sólidos orgánicos, papel, plástico y vidrio.	GAD parroquial Papallacta y Cuyuja Terjamanco Termas Papallacta ASETUPA Qesera Santa Catalina
		Colocación de contenedores de basura en las parroquias de Papallacta y Cuyuja	
	Monitoreo y estudios de la calidad del agua.	Toma de muestras y análisis de la calidad de agua.	EPMAPS Ministerio de Ambiente
	Plan local de riesgos y contingencias construido y socializado con la población ante derrames de petróleo.	Experiencias en la respuesta ante el derrame de petróleo de las estaciones de bombeo, planes de contingencia de la empresa Petroecuador. Incorporar en los planes de contingencia el control en el mantenimiento de la infraestructura de las estaciones de	GAD Parroquial Papallacta Petroecuador

		bombeo.	
	Fortalecer el Comité de Operaciones Especiales (COE) Parroquial.	Programas de capacitación en la elaboración de planes de contingencia y respuesta ante derrames de petróleo.	GAD Parroquial Papallacta Petroecuador

Tabla 4.6 Plan de acción para el control de la escases estacional del agua.

Objetivo	Actividades	Recursos	Involucrados
Controlar la falta de agua estacional para garantizar la disponibilidad de agua en la cuenca del río Papallacta.	Manejo de las micro cuencas importantes con sistemas de monitoreo con responsabilidad social.	Mantenimiento de estaciones hidrológicas y meteorológicas.	EPMAPS FONAG CARE ECOLUZ
		Registro continuo y completo de datos de precipitación, caudales, temperatura, humedad, etc.	
	Promover medidas de adaptación a los cambios del clima.	Control de factores climáticos con la presencia de invernaderos parroquias de Papallacta y Valle del Tambo. PRAA (Proyecto Regional Andino de Adaptación al	MAE

		Cambio Climático / Adaptación al impacto del retroceso acelerado de glaciares en los andes tropicales)	
	Reforestación con especies nativas.	Viveros para el abastecimiento local y provincial de plantas forestales, hortícolas y medicinales	Comunidad El Tambo GAD parroquial Papallacta y Cuyuja
	Protección de las fuentes de agua.	Área de conservación hídrica Antisana.	FONAG

Tabla 4.7 Plan de acción para el uso adecuado de los recursos naturales.

Objetivo	Actividades	Recursos	Involucrados
Fomentar el uso adecuado de los recursos naturales mediante acciones que permitan reducir el desperdicio de agua termal y la quema de pajonal.	Instalación de medidores y cobro de tarifas.	Identificación de fuentes de agua termal del sector turístico	Gad parroquial Papallacta Terjamanco Termas Papallacta
	Estudio e implementación del sistema de agua termal.	Sistemas de captación de aguas termales para oferta turística	Terjamanco Termas Papallacta
	Energías limpias.	Hidroeléctrica Ecoluz Hidroeléctrica Victoria	Ecoluz Empresa Eléctrica

			Quito
	Programas de regeneración y reproducción especies energéticas (para leña).	Viveros para el abastecimiento local de especies energéticas para leña.	CARE MAE Comuna Jamanco Comunidad El Tambo.

Tabla 4.8 Plan de acción contra la degradación del suelo

Objetivo	Actividades	Recursos	Involucrados
Establecer medidas para el adecuado manejo pecuario, uso de fertilizantes y derrames de petróleo para evitar la degradación del suelo.	Manejo del sistema pecuario	Rotación de pastizales	Asociación de Ganaderos de Cuyuja y Papallacta. GAD parroquial Papallacta y Cuyuja
		División de potreros implementando el cercado eléctrico.	
	Capacitación y tecnificación agropecuaria.	Capacitación permanentemente a los beneficiarios sobre técnicas agroecológicas adecuadas y adaptadas a las condiciones climáticas del sector, sistemas de pastoreo apropiados.	MAE Comuna Jamanco Comunidad El Tambo. Asociación de Ganaderos de Cuyuja y Papallacta. Asociación Agropecuaria Los Laureles Asociación de huertos familiares El Tambo

	Sistemas silvopastoriles.	Manejo de los recursos naturales vinculados a la organización comunitaria	CARE
	Zonificación de áreas aptas para producción pecuaria.	Diagnóstico territorial mapas de aptitud y uso del suelo.	GAD parroquial Papallacta y Cuyuja

Tabla 4.9 Plan de acción para el control de la cacería furtiva y pérdida de páramos

Objetivo	Actividades	Recursos	Involucrados
Establecer acciones de control para la cacería furtiva y pérdidas de páramo con el fin de cuidar y preservar la flora y fauna.	Apoyo a la gestión para la definición de los límites del área protegida.	Presencia de la Reserva Ecológica Antisana, Parque Nacional Cayambe Coca. Cuenca del río Papallacta delimitada.	Gad parroquial Papallacta
	Fortalecer la implementación de un corredor ecológico.	Implementación de un corredor ecológico desde la parte alta La Virgen.	MAE Fundación Ecológica Rumicocha
	Quemas controladas.	Capacitación en sistemas de alerta temprana	GAD parroquial Papallacta y Cuyuja.



		(implementación de Plan Preventivo de Quemaz PPQ) Ordenanzas para el manejo de páramos.	
	Acuerdos comunitarios para el manejo de páramos.	Diseño e implementación de un plan de manejo de paramo. Priorizar las actividades de los planes de manejo de las áreas protegidas.	MAE Comuna Jamanco Comunidad El Tambo GAD parroquial Papallacta y Cuyuja

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

De acuerdo a las características morfométricas de la cuenca esta se presenta como una cuenca montañosa de tamaño mediano poco alargada su densidad de drenaje es baja por lo que la producción del flujo superficial es baja según su naturaleza, y el tiempo de concentración de caudal es mayor con 88 minutos de concentración. Esto significa que morfológicamente la cuenca del río Papallacta no tiende a presentar un aumento en el proceso de producción de escorrentía.

Del diagnóstico de los factores biofísicos se determina que la cuenca del río Papallacta se localiza en un sector estratégico, por la disponibilidad de agua que posee al localizarse en la vertiente oriental con 892 afluentes de agua superficial y 513 nacimientos de agua subterránea, constituyéndola en una fuente rica del recurso agua. Por localizarse dentro de la Reserva Ecológica Antisana y el Parque Nacional Cayambe Coca, posee en su mayor superficie la presencia de páramos que aumentan las reservas de agua de la zona. Esta situación demuestra que ante un aumento en la producción de escorrentía la recarga de acuíferos se puede ver afectada reduciendo la disponibilidad de agua, por lo que es necesario identificar y delimitar las zonas de recarga de agua las mismas que se encuentran a partir de los 3.000 *msnm*, para otorgar un uso de conservación y protección.

En la cuenca del río Papallacta las todas las actividades productivas que se llevan a cabo se encuentran vinculadas con el uso del recurso hídrico la dotación de agua potable, las hidroeléctricas y el uso recreativo del agua como pesca y el uso de termas con un caudal de 26,754  $m^3/s$ , sin embargo, este dato es muy ambiguo por los nuevos proyectos que están llevándose a cabo en la cuenca. El problema con los caudales de la cuenca es que son tomados de fuentes puntuales y cuando son destinados

para uso consuntivo pueden reducirse y disminuir la disponibilidad de agua a pesar de que el aporte de la toda la cuenca del río Papallacta aporte actualmente con  $548,0 \text{ m}^3/\text{s}$  a la cuenca del río Napo. Ante un aumento de la producción de escorrentía los caudales pueden incrementarse, beneficiando a los proyectos hidráulicos en épocas de lluvia, sin embargo, en épocas de estiaje el caudal se ve reducido porque el aumento de escorrentía impide la recarga de acuíferos que mantienen el flujo permanente de los ríos.

Para determinar el cambio de cobertura y uso del suelo se requiere realizar un procesamiento de imágenes satelitales que permitan trabajar el área de estudio, una clasificación supervisada resulta pertinente porque permite validar el trabajo, comprobando la información con datos levantados en campo. Si bien el cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Papallacta no son tan marcados, existe evidencia de que hay un incremento de la superficie antrópica y agropecuaria, que ha ocupado las zonas donde en el 2007, los bosques ocupaban una superficie de 29,95%, esta situación cambio para el 2017, donde su superficie se redujo al 23,80%, y encontraste las tierras agropecuarias y las zonas antrópicas incrementaron su superficie en 5% y 0,4% respectivamente. Para 2017 también hay un ligero aumento en la superficie de páramos en 2% lo que demuestra que medidas de conservación y protección pueden dar resultados en la cuenca del río Papallacta como la de la protección de la microcuenca del Antisana impulsada por la FONAG. Estos cambios van influenciar en la producción de escorrentía y por tanto en la funcionalidad de la cuenca, debido a que la reducción de la superficie de bosques, se dio por uso antrópico y agropecuario, donde la infiltración disminuye por el cambio en la cobertura, incrementando procesos de erosión y sedimentación, que a su vez guardan relación con la contaminación debido a los residuos de las actividades antrópicas y agropecuarias.

La estimación de la producción de esorrentía es un estudio complejo que combinado con sistemas de información geográfica, nos brindan información de la situación hidrológica que tiene una cuenca hidrográfica. Para el presente trabajo el uso de mapas de cobertura y uso del suelo obtenidos a través de imágenes satelitales, mapas con cartografía temática que aborda litología, pendientes, geomorfología combinados con metodologías propuestas por entidades que llevan a cabo investigaciones permitieron la obtención de los umbrales de esorrentía que posteriormente determinaron el volumen de producción de la cuenca en dos periodos de tiempo diferentes y evidenciar que aunque la producción de esorrentía se ha mantenido constante en el 83,09 % de la superficie de su producción se incrementó en el 10,59% y disminuyó en el 6,32% de su superficie, al momento de distribuir espacialmente estas variaciones se relacionan con los cambios en la cobertura y uso del suelo.

El método del número de curva y estimación del volumen de esorrentía, propuesto por la CSC, resultó ser el método más conveniente para la investigación porque incorpora información meteorológica y de cobertura y uso del suelo que se recopiló en el proceso de investigación.

Cuando se calcula los umbrales de esorrentía se requiere información de datos meteorológicos como precipitación neta por un periodo de diez años para la cuenca del río Papallacta, esta información se encuentra disponible y publicada por las entidades encargadas, sin embargo, resulta necesario llevar a cabo la completación de los datos faltantes en las estaciones siendo así la cuenca presenta una precipitación neta anual de 1.378 *mm*, esta precipitación nos permitió establecer los caudales que aporta toda la cuenca en el 2007 y 2017 siendo 545 y 548 *m*<sup>3</sup>/*s*, respectivamente, influenciado por la cobertura y uso del suelo.

El incremento de la producción de la esorrentía ocurre en el 10,59% de la superficie de la cuenca y puede resultar beneficioso para proyectos que requieren diseño de caudales como las hidroeléctricas o dotación de agua

potable, pero se debe tomar en cuenta que también puede resultar perjudicial para otras actividades en la cuenca, debido a que el aumento de escorrentía genera procesos de erosión y sedimentación y como se ha evidenciado en la cuenca del río Papallacta el mayor problema es la contaminación del recurso hídrico, donde el contaminante puede estar inmerso en el proceso de escorrentía, ya que va arrastrando residuos de animales en la actividad pecuaria, fertilizantes de la actividad agrícola, y compuestos que se quedan en el suelo después de los derrames de petróleo que se han evidenciado.

Para poder elaborar una propuesta de manejo y gestión de la cuenca del Río Papallacta, es necesario buscar información base de cómo se han elaborado estas propuestas en el Ecuador, la FAO, publica un diagnóstico que puede ayudar a mejorar las estrategias en el manejo y gestión de cuencas, así como también identifica los elementos que deben estar presentes al momento de manejar las cuencas hidrográficas.

La propuesta para el mantenimiento de las funcionalidades de la cuenca se realizó con el fin de tener un acercamiento al complejo manejo y gestión de cuencas, basándose en la participación ciudadana donde se identificaron todos los problemas de las organizaciones sociales y productivas de la cuenca alta del río Papallacta.

Las estrategias presentadas en el trabajo se realizaron siguiendo una serie de pasos donde se identifica el problema dándole prioridad, se identifican las causas y los efectos para poder establecer las acciones que van a permitir buscar una solución al problema.

La propuesta se basa en cinco problemas que presenta la cuenca del río Papallacta siendo el principal la contaminación del recurso hídrico para combatir este problema se proponen medidas debatidas con todos los sectores involucrados donde se cuenta con los recursos y las instituciones presentes en la cuenca para poderlas aplicar.

Gracias a la ubicación estratégica de la cuenca existe la presencia de instituciones de ámbito nacional e internacional, que mediante sus proyectos y el trabajo con la comunidad como Jamanco y Papallacta, se pueden realizar acciones que viabilicen la sostenibilidad de la cuenca combinando conocimiento de cambio climático y ancestral en cuanto a actividades productivas como la ganadería, silvicultura y agricultura que se llevan a cabo en la cuenca.

La cuenca del río Papallacta, posee una mayor capacidad de mantener su funcionalidad en la parroquia de Papallacta por la alta presencia de instituciones y de organizaciones sociales.

## **5.2. Recomendaciones**

- ✓ Para la elaboración del diagnóstico de un área en específico se requiere actualizar la información presente en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, debido a que estos no se encuentran actualizados.
- ✓ Aunque exista una serie de estaciones hidrometereológicas en la cuenca del río Papallacta, estas no se encuentran funcionales ni contienen un registro completo de datos. Si se requiere información de datos completos de meteorología, se posee un registro completo en las estaciones de FONAG, desde el 2013 hasta el 2017.
- ✓ Para determinar la escorrentía de una cuenca se cuentan con varios métodos sin embargo el propuesto por la CSC, resulta un método más efectivo, porque involucra una serie de variables físicas que permiten un acercamiento real a la situación hidrológica de una cuenca, además de combinar sistemas de información geográfica con datos de meteorología.
- ✓ Se debería contar con un registro e inventario completo de todos los caudales captados en la cuenca del río Papallacta, para poder identificar cuáles son los más afectados y poder tomar acciones para su manejo adecuado.

- ✓ La participación ciudadana propuesta en la gestión y manejo de cuencas hidrográficas, es una herramienta que permite establecer estrategias acercadas a la realidad del problema de la cuenca del río Papallacta, sin embargo, se deben tomar en cuenta a todos los actores de la parte alta, media y baja.

## Bibliografía

- AFB. (2016). Oficina Nacional del Agua y de los Medios Acuáticos. Obtenido de <http://www.glossaire.eaufrance.fr/es/concept/caudal-l%C3%ADquido>
- Aguilar, R. (2014). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes ASTER, RAPIDEYE, SPOT 2 Y LANDSAT 8 con el módulo FLAASH Del Software ENVI . Revista Geográfica de América Central, 39-59. Obtenido de <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/viewFile/6609/6743>
- Arias, M. (2009). LA GEOMÁTICA Y SU IMPORTANCIA EN EL MANEJO DE LOS ESTADOS. Obtenido de <https://revistamarina.cl/revistas/2009/3/vasquez.pdf>
- Andalucía, J. d. (2004). Manual para la introducción de la perspectiva de género y juventud al desarrollo rural. . Obtenido de Agricultura y Pesca.: [http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/desarrollo/documentos/manua1\\_61.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/desarrollo/documentos/manua1_61.pdf)
- Ayora, D. (2004). El ciclo Hidrológico. Obtenido de <https://web.archive.org/web/20090205224502/http://ausma.uncoma.edu.ar/academica/materias/riego/clave/temas/T020.pdf>
- Bostón , S. (s.f.). Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP.
- Buzai, G. (1999). Geografía Automatizada, Ciencias de la Información Geográfica y Ciencias Sociales Integradas Espacialmente. Obtenido de 237401464\_Geografia\_Automatizada\_Ciencias\_de\_la\_Informacion\_Geografica\_y\_Ciencias\_Sociales\_Integradas\_Espacialmente
- Buzai, G. (2013). Sistemas de Información Geográfica (SIG): Teoría y. Obtenido de <file:///C:/Users/MarkAntony/Desktop/musica/281-304-1-SM.pdf>

- Catelán, C. (2003). El recurso hídrico en México: Análisis de la situación actual y perspectivas futuras. Obtenido de [https://www.google.com.ec/search?q=CASTELAN+RECURSO+HIDRICO+MEXICO&rlz=1C1NHXL\\_esEC726EC726&oq=CASTELAN+RECURSO+HIDRICO+MEXICO&aqs=chrome..69i57.8763j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com.ec/search?q=CASTELAN+RECURSO+HIDRICO+MEXICO&rlz=1C1NHXL_esEC726EC726&oq=CASTELAN+RECURSO+HIDRICO+MEXICO&aqs=chrome..69i57.8763j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
- Cevallos, R. (2005). ESTUDIO DE LA GEODINÁMICA ACTUAL DEL RÍO NAPO (AMAZONÍA ECUATORIANA – PERUANA)USANDO DATOS HIDROLÓGICOS Y DE DGPS. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2125/1/T-ESPE-014961.pdf>
- Cevallos, M. (2005). Geodinámica actual del Río Napo (Amazonía Ecuatoriana-Peruana) usando datos hidrológicos y de DGPS. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2125>
- Chereque, W. (1978). Hidrología para estudiantes de ingeniería civil. Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia.pdf>
- Chuvieco, E. (1992). Iberoamérica desde el Espacio. Madrid: 1ra Edición.
- Chuvieco, E. (2000). Fundamentos de la Teledetección. Espacial, 3º edición revisada. Obtenido de <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis123.pdf>
- Cogaltón, L. (1983). A quantitative method to test for consistency and correctness in photointerpretation. Obtenido de <https://scholar.google.com/citations?user=2lmFH70AAAJ&hl=en>
- EPMAPS. (2018). Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento. Obtenido de Proyectos de Agua Potable Vertiente Oriental.: <https://www.aguaquito.gob.ec/>
- FAO. (2004). Review and assessment of the status of watershed management. Obtenido de Watershed management case study: Latin America. Watershed Management and Sustainable Mountain: <http://www.fao.org/3/a-a0644s.pdf>
- Ferrer, F. (1991). Obtención de la lluvia neta a partir del método del Soil Conservation Service. Obtenido de [http://hidrologia.usal.es/practicas/Pneta\\_SCS/Pneta\\_SCS\\_fundam.pdf](http://hidrologia.usal.es/practicas/Pneta_SCS/Pneta_SCS_fundam.pdf)
- Horna, L. (2016). Evaluación Hidrometeorológica y de Sedimentos en la Cuenca del Río Coca Área de Influencia del Proyecto Coca Codo Sinclair. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15064>.
- Junco, J. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: estudio de caso del Parque Nacional Picote Tancitaro. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Jesus\\_Fuentes\\_Junco](https://www.researchgate.net/profile/Jesus_Fuentes_Junco)



- Landdis, K. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometric*. . Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/10905/1/T-ESPE-049257.pdf>
- Lavao, S. (2005). APLICACIÓN DE LA TEORÍA DEL NÚMERO DE CURVA (CN) A UNA CUENCA DE MONTAÑA. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO MURCA, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. Obtenido de Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/13331/1/Trab>
- León, P. (2015). Generación de un modelo Predictivo de Crecimiento Urbano mediante la Técnica de Autómatas celulares. Proyecto de titulación. Sangolquí. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/10905>
- Miranda, M. (2015). Método de enmascaramiento de nubes y sombras con imágenes Landsat. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/47288530/Enmascaramiento-de-nubes-y-sombras-con-imagenes-Landsat>
- Pérez. (1999). Geografía Regional renovada. Tendencias y desafíos. Editorial Academia. La Habana. . Obtenido de [https://www.ecured.cu/Geograf%C3%ADa\\_regional](https://www.ecured.cu/Geograf%C3%ADa_regional).
- PDOT. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Cuyuja. Obtenido de <http://gadprcuyuja.gob.ec/napo/wp-content/uploads/2015/06/RESUMEN-EJECUTIVO.docx>
- PDOT. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Papallacta. Obtenido de <http://gadprpapallacta.gob.ec/napo/wp-content/uploads/2014/10/P.D.O.T-PAPALLACTA.pdf>
- Pidwyrni, M. (2006). «The Hydrologic Cycle.». *Fundamentals of Physical Geography* 2nd Edition. Obtenido de <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8b.html>
- Quevedo, J. (2016). Simulación del Esguerrimiento Directo de Eventos en cuencas pequeñas con el modelo HIDRAS. . Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v50n7/1405-3195-agro-50-07-787-en.pdf>
- Rejas, A. (2008). Tratamiento digital previo de las imágenes. Módulo VII: Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. . Obtenido de <http://docplayer.es/9019723-Tratamiento-digital-previo-de-las-imagenes.html>
- Secretaría General de la Comunidad Andina, M. d. (2011). Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales (PRAA), Fondo para la Protección del Agua (FONAG), 2011. Diseño de la Red de

Monitoreo Hidrológico en las Microcuencas de los ríos Pita, San Pedro, Papallacta.

SNAP. (2017). Sistema Nacional de Áreas Protegidas. . Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/sistema-nacional-de-areas-protegidas/>

Terjamanco. (2018). Termas de Jamanaco. Papallacta. Ecuador. . Obtenido de <http://terjamanco.com/>

Velázquez, A. (2002). Velázquez, A. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo En México. . Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112009000100007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000100007).

Wolff, D. (2005). "Albert Demangeon (1872-1940), pilar de la escuela francesa de geografía".

## **ANEXOS**

## Anexo 1.

Tablas de caracterización de cuencas hidrográficas Fuentes Junco José en su trabajo Análisis morfométrico de cuencas: estudio de caso del Parque Nacional Picote Tancitaro 2004.

*Tabla 2. 1 Clases de tamaño de cuencas*

<b>Rangos de áreas</b>	<b>Clases de tamaño</b>
12.5-35.0	Muy pequeña
35.5-58.0	Pequeña
58.5-81.0	Mediana
81.5-103.5	Grande

*FUENTE:* (Fuentes Junco, 2004)

*Tabla 2. 2 Forma de la cuenca en función al factor de forma.*

<b>Factor de forma</b>	<b>Forma de la cuenca</b>
0.01-0.18	Muy poco achatada
0.18-0.36	Ligeramente achatada
0.36-0.54	Moderadamente achatada

*FUENTE:* (Fuentes Junco, 2004)

*Tabla 2. 4 Clases de valores de alargamiento*

<b>Rangos de I</b>	<b>Clases de alargamiento</b>
0.0-1.4	Poco alargada
1.5-2.8	Moderadamente alargada
2.9-4.2	Muy alargada

*FUENTE:* (Fuentes Junco, 2004)

*Tabla 2. 3 Índice de Gravelius para la evaluación de la forma.*

<b>Clase</b>	<b>Rango</b>	<b>Descripción</b>
Kc1	1 a 1.25	Redonda a oval redonda
Kc2	1.25 a 1.5	De oval redonda a oval oblonga
Kc3	>1.5	De oval oblonga a rectangular oblonga

*FUENTE:* (Fuentes Junco, 2004)

*Tabla 2. 6 Clases de valores de masividad*

Rangos de $K_m$	Clases de masividad
0-35	Muy Montañosa
35-70	Montañosa
70-105	Moderadamente montañosa

FUENTE: (Fuentes Junco, 2004)

*Tabla 2. 7 Clases de valores de longitud del cauce principal*

Rangos de longitud	Clases de longitud del cauce
6.9-10.9	Corto
11-15	Mediano
15.1-19.1	Largo

FUENTE: (Fuentes Junco, 2004)

*Tabla 2. 8 Clasificación de la pendiente*

Rango	Término descriptivo
0-2%	Plano o casi a nivel
2-4%	Ligeramente inclinado
4-8%	Moderadamente inclinado
8-15%	Fuertemente inclinado
15-25%	Moderadamente empinado
25-50%	Empinado
50-75%	Muy empinado
>75%	Extremadamente empinado

FUENTE: (Fuentes Junco, 2004)

*Tabla 2. 9 Clasificación del orden de drenaje.*

Rangos de órdenes	Clases de orden
1 - 2	Bajo
2 - 4	Medio
4 - 6	Alto

FUENTE: (Fuentes Junco, 2004)

*Tabla 2. 11 Rangos de clasificación de la densidad de drenaje.*

<b>Rangos de densidad</b>	<b>Clases</b>
0.1-1.8	Baja
1.9-3.6	Media
3.7-5.6	Alta

Fuente: (Fuentes Junco, 2004)

*Tabla 2. 12 Clases de valores escurrimientos*

<b>Rangos de escurrimiento</b>	<b>Clases</b>
0-170	Bajo
171-340	Medio
341-510	Alto

FUENTE: (Fuentes Junco, 2004)

## Anexo 2. Anuarios de Precipitación

Año 2007

78 Anuario Meteorológico 2007

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

M188

PAPALLACTA

INAMHI

MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCÍO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación	
		ABSOLUTAS			MEDIAS			Máxima	día	Mínima	día	Media			Suma	Máxima			
		Máxima	día	Mínima	Mensual	24hrs	día								precipitación				
ENERO		22,0	28	2,8	14	15,2	6,5	10,7				85	8,1	10,9	81,0	14,2	28	22	
FEBRERO		18,4	13	4,4	16	15,4	6,8	10,9	100	1	48	16	87	8,6	11,2	41,5	8,4	27	18
MARZO		19,0	24	4,2	14	14,9	6,7	10,3	100	1	57	24	90	8,6	11,2	65,9	11,7	14	26
ABRIL		20,0	16			15,3	6,8	10,7	100	23	51	15	87	8,5	11,2	116,8	16,6	6	26
MAYO		18,0	17	2,4	23	15,1	6,7	10,6				89	8,7	11,3	99,7	28,3	7	21	
JUNIO		18,0	16	3,0	15	14,1	5,9	9,7	100	13	55	3	88	7,7	10,5	212,0	30,5	1	24
JULIO		17,2	1	1,2	17	13,3	5,3	9,3				88	7,3	10,2	110,9	22,2	2	23	
AGOSTO						13,9	5,2	9,6				88	7,5	10,4	86,9	20,7	2	22	
SEPTIEMBRE		19,0	8			14,8	5,7	10,1				84	7,4	10,3	84,0	16,5	21	21	
OCTUBRE				4,0	17	16,2	6,9	11,5				82	8,3	11,0	57,8	12,8	26	14	
NOVIEMBRE		19,0	24	3,0	3	15,4	6,0	10,9	100	10	52	1	86	8,5	11,1	87,4	13,8	15	22
DICIEMBRE		19,0	16	5,0	25	15,3	7,3	10,9	100	22	41	16	87	8,7	11,3	46,2	8,0	25	21
VALOR ANUAL						14,9	6,3	10,4				86	8,2	10,9	1089,9	30,5		260	

Año 2008

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

ANUARIO METEOROLÓGICO 2008 - 69

M188	PAPALLACTA												INAMHI							
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)					HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación			
		ABSOLUTAS		M E D I A S			Máxima	día	Mínima	día	Media			Suma	Máxima en	24hrs		día		
		Máxima	día	Mínima	día	Mensual														
ENERO		18.8	11				16.1	6.6	10.3	100	23	54	26	89	8.5	11.1	63.1	11.2	9	20
FEBRERO							14.4	6.1	9.8	100	4	63	3	91	8.3	11.0	93.7	18.4	26	19
MARZO		17.9	27				14.8	6.1	10.0	100	14	58	11	90	8.3	11.0	51.2	9.9	2	16
ABRIL		17.6	29				15.1	7.2	10.6	100	5	64	17	89	8.7	11.4	118.2	13.9	9	24
MAYO		17.0	8	3.2	8		14.3	6.6	10.1	100	9	58	6	90	8.3	11.0	151.5	17.2	14	19
JUNIO		17.2	11	2.4	9		14.2	6.0	9.7	100	9	53	5	90	8.1	10.8	175.1	25.2	16	22
JULIO		16.4	26	3.2	21		13.7	6.4	9.0	100	1	57	18	91	7.5	10.4	162.4	15.6	3	22
AGOSTO		18.0	16				15.1	5.4	9.1	100	11	62	17	89	7.4	10.3	140.9	21.8	31	22
SEPTIEMBRE		18.6	28				15.6	6.3	9.8	100	1	54	12	87	7.7	10.5	122.8	18.3	16	20
OCTUBRE		18.6	4				15.7	8.1	10.5					87	8.2	10.9	132.2	26.0	28	19
NOVIEMBRE		18.8	24				16.5	7.7	11.3	100	11	55	7	84	8.5	11.2	51.6	13.2	1	12
DICIEMBRE		18.8	11	5.2	4		15.9	7.4	10.8	100	7	61	19	86	8.5	11.1	103.5	20.8	5	21
VALOR ANUAL							15.1	6.7	10.1					88	8.2	10.9	1366.2	26.0		

Año 2009

M188																			PAPALLACTA																			INAMHI																		
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCÍO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación																																						
		ABSOLUTAS		M E D I A S				Máxima	día	Mínima	día	Media			Suma	Máxima en 24hrs	día																																							
		Máxima	Mínima	día	Máxima	Mínima	Mensual																																																	
ENERO	41.4	17.0	25		14.4	7.1	10.1	100	14	61	25	91	8.6	11.2	149.3	23.1	25	18																																						
FEBRERO	65.9				14.8	6.3	10.2					88	8.3	11.0	57.3	13.7	11	14																																						
MARZO	79.9				15.5		10.7	100	2	43	23	88	8.6	11.2	113.5																																									
ABRIL	68.0																																																							
MAYO	88.5				15.2	7.5	10.5					87	8.4	11.0	136.2	31.1	19	17																																						
JUNIO	49.7				14.1	7.7	10.0					89	8.1	10.8	187.2	34.1	5	22																																						
JULIO	66.0				14.2	6.8	9.7					88	7.7	10.6	155.2	39.7	18	20																																						
AGOSTO	78.5				15.3	6.8	10.1					88	8.0	10.8	147.8	20.2	6	20																																						
SEPTIEMBRE	90.8				15.6		10.1					85	7.5	10.4	87.4	20.6	29	16																																						
OCTUBRE	89.6				16.4	7.6	10.9					87	8.6	11.3	188.3	65.2	21	17																																						
NOVIEMBRE	112.8					7.2	11.7	98	12	39	3	83	8.6	11.3	1.7	1.6	23	2																																						
DICIEMBRE	107.2					4.6	10.9					87	8.6	11.2	27.3																																									
VALOR ANUAL	938.3																																																							

Año 2010

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

Estadística de Estaciones Climatológicas 83

M188															PAPALLACTA															INAMHI														
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCÍO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación																										
		ABSOLUTAS		M E D I A S											Suma	Máxima en 24hrs	día																											
		Máxima	día	Mínima	día	Máxima	Mínima	Mensual	Máxima	día	Mínima	día							Media	Mensual																								
ENERO	122.9			1.2	3	17.3	4.4	10.5				86	8.1	10.9	151.1	50.0	10	11																										
FEBRERO	62.8			2.2	12	19.4	3.8	11.4	100	8	60	14	88	9.3	11.8	108.4	12.8	6	16																									
MARZO	78.5					19.3	4.0	11.2				87	9.1	11.6	103.6	15.5	10	16																										
ABRIL	38.2			1.0	5		3.5	11.8	100	5	58	2	87	9.7	12.0	195.7	40.0	5	20																									
MAYO	100.1			1.0	11		3.9	11.8	100	27	57	15	86	9.4	11.8	157.4	21.3	7	17																									
JUNIO	45.5	18.9	1	2.0	3	16.8	4.3	10.2	100	2	60	21	90	8.5	11.1	279.5	40.9	7	22																									
JULIO	101.0	20.0	22			17.8	3.8	10.2	100	2	54	5	88	8.1	10.9	74.5	12.0	16	20																									
AGOSTO	71.9			1.6	4	17.7	3.1	9.5	100	7	51	18	88	7.4	10.4	180.8	25.2	19	20																									
SEPTIEMBRE	92.6			1.6	17	19.9	4.0	10.5	98	3	49	10	84	7.7	10.6	118.9	33.4	15	14																									
OCTUBRE	105.1			2.0	12	19.4	4.0	10.9				83	8.0	10.8	67.0	12.5	25	14																										
NOVIEMBRE	74.2			2.0	6		4.0	10.7	100	1	41	11	84	8.0	10.8	145.3																												
DICIEMBRE	76.6			1.2	6		3.2	10.6	100	5	54	31	86	8.2	10.9	79.6	20.0	26	11																									
VALOR ANUAL	969.4						3.8	10.8				86	8.5	11.1	1661.8																													



Año 2011

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

Estadística de Estaciones Climatológicas 85

M0188														PAPALLACTA														INAMHI													
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación																							
		ABSOLUTAS		M E D I A S											Suma	Máxima en																									
		Máxima	día	Minima	día	Máxima	Minima	Mensual	Máxima	día	Minima	día			Media	Mensual	24hrs		día																						
ENERO	139.4		1.2	15		3.7	10.8					83	7.8	10.6	73.3	13.5	3	10																							
FEBRERO	63.2		0.8	26		3.4	10.3	100	9	46	9	85	7.8	10.7	131.0	25.0	14	18																							
MARZO	79.8		1.2	15		3.9	10.9					83	7.8	10.7	38.1	10.9	2	8																							
ABRIL	63.5		1.6	12		3.0	10.6					88	8.7	11.3	176.9	21.5	26	21																							
MAYO	93.0				15.5	3.1	10.8					88	8.8	11.3	251.2																										
JUNIO	87.6					2.5	10.2	100	26	56	6	89	8.2	11.0	196.9	32.0	14	18																							
JULIO	62.4				13.5	2.0	9.5	100	20	57	4	90	7.9	10.7	271.1	22.3	22	23																							
AGOSTO	98.3					2.5	9.8					86	7.4	10.4	144.4	25.5	9	18																							
SEPTIEMBRE	57.6						9.5	100	27	54	9	87	7.3	10.3	131.7	25.0	24	17																							
OCTUBRE	153.5				23.3	2.9									60.9																										
NOVIEMBRE	103.0					4.5	10.5					85	7.9	10.9	63.1																										
DICIEMBRE	49.1																																								
VALOR ANUAL	1050.4																																								

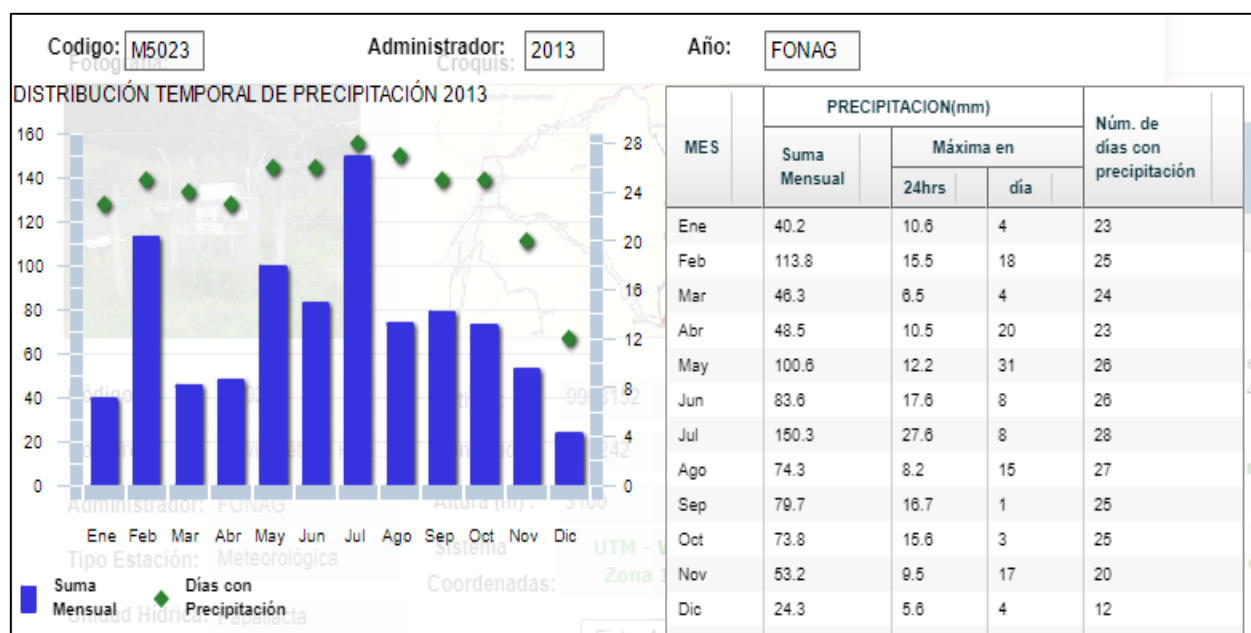
Año 2012

78 Anuario Meteorológico N° 52-2012

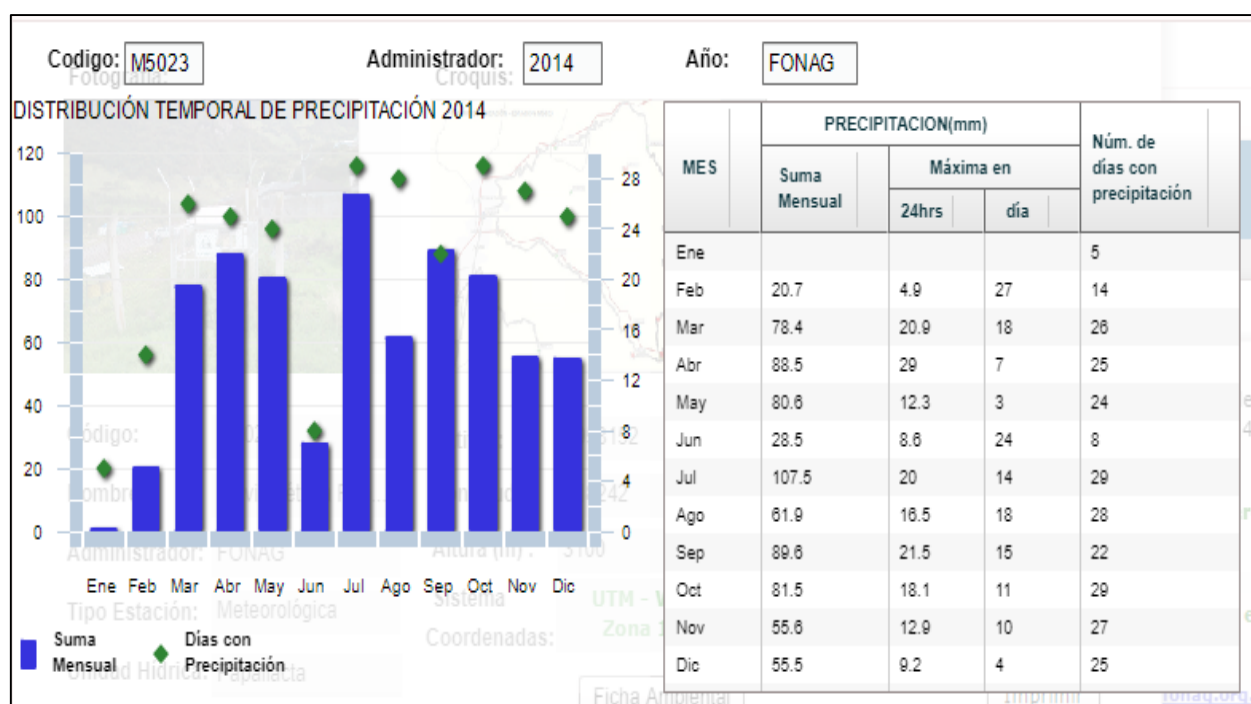
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

M0188																	PAPALLACTA																	INAMHI																
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)							HUMEDAD RELATIVA (%)							PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación																													
		ABSOLUTAS		M E D I A S									Media					Suma	Máxima en 24hrs	dia																														
		Máxima	día	Minima	día	Máxima	Minima	Mensual	Máxima	día	Minima	día	Media																																					
ENERO	75.2			3.1	15	18.1	4.5	10.3					92	9.1	11.7	105.6	14.2	3	21																															
FEBRERO	63.0						4.5	9.8					93	8.8	11.4	93.7	22.0	21	16																															
MARZO	28.0			3.3	1		5.1	10.1	100	4	68	27	94	9.1	11.6	140.6	23.4	11	22																															
ABRIL	40.3			4.1	11		5.0	10.7					95	9.9	12.4	112.8	15.0	27	19																															
MAYO	36.4						5.0	9.9					95	8.9	11.6	150.3	22.0	21	21																															
JUNIO	81.3						5.0	9.6					94	8.6	11.3	166.4																																		
JULIO	74.0						4.9	9.6					95	8.7	11.4	206.9	30.8	18	25																															
AGOSTO	31.2						5.0	9.6					96	9.1	11.7	147.1	35.2	28	19																															
SEPTIEMBRE	100.1						3.2									14.3	12.0	29	2																															
OCTUBRE	90.5					17.9	3.6	10.8					91	9.4	11.9	38.5	10.1	23	9																															
NOVIEMBRE	67.3					19.0	5.1	11.3					93	10.1	12.5	13.0																																		
DICIEMBRE	81.5																																																	
VALOR ANUAL	768.8																																																	

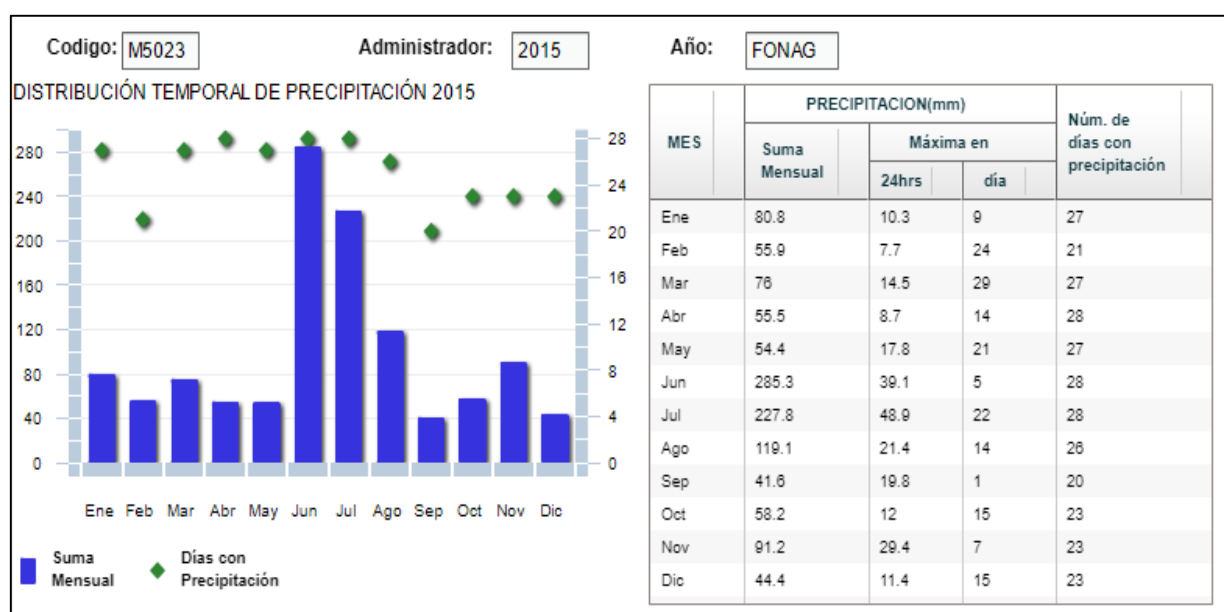
## Año 2013



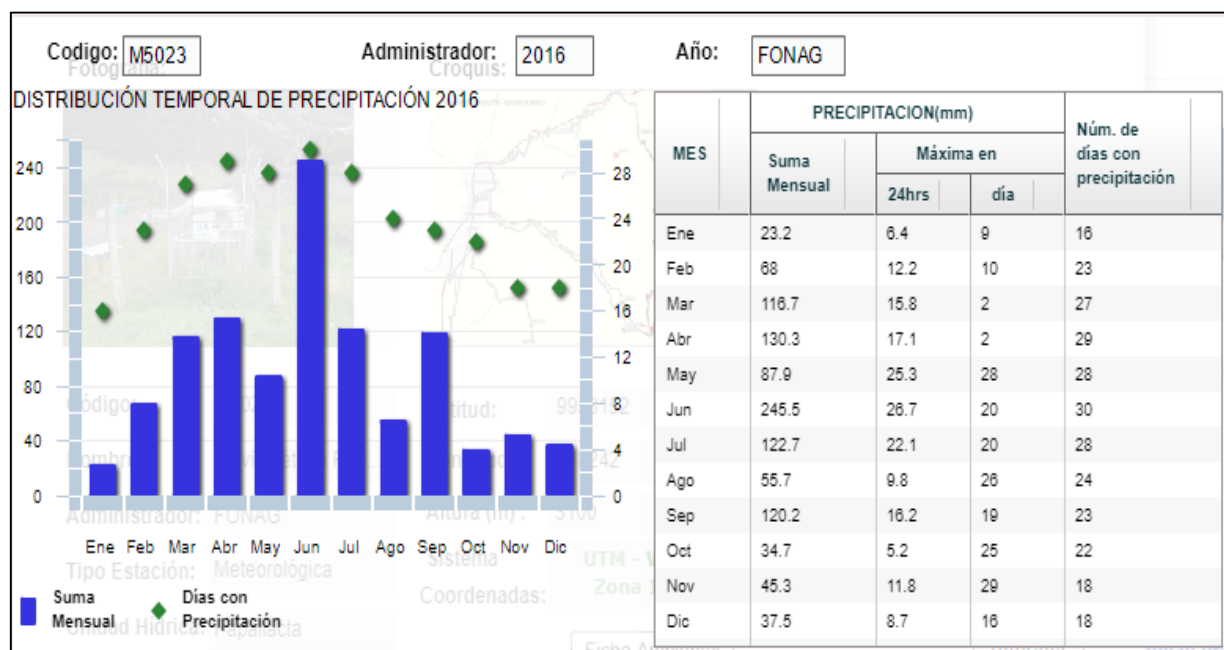
## Año 2014.



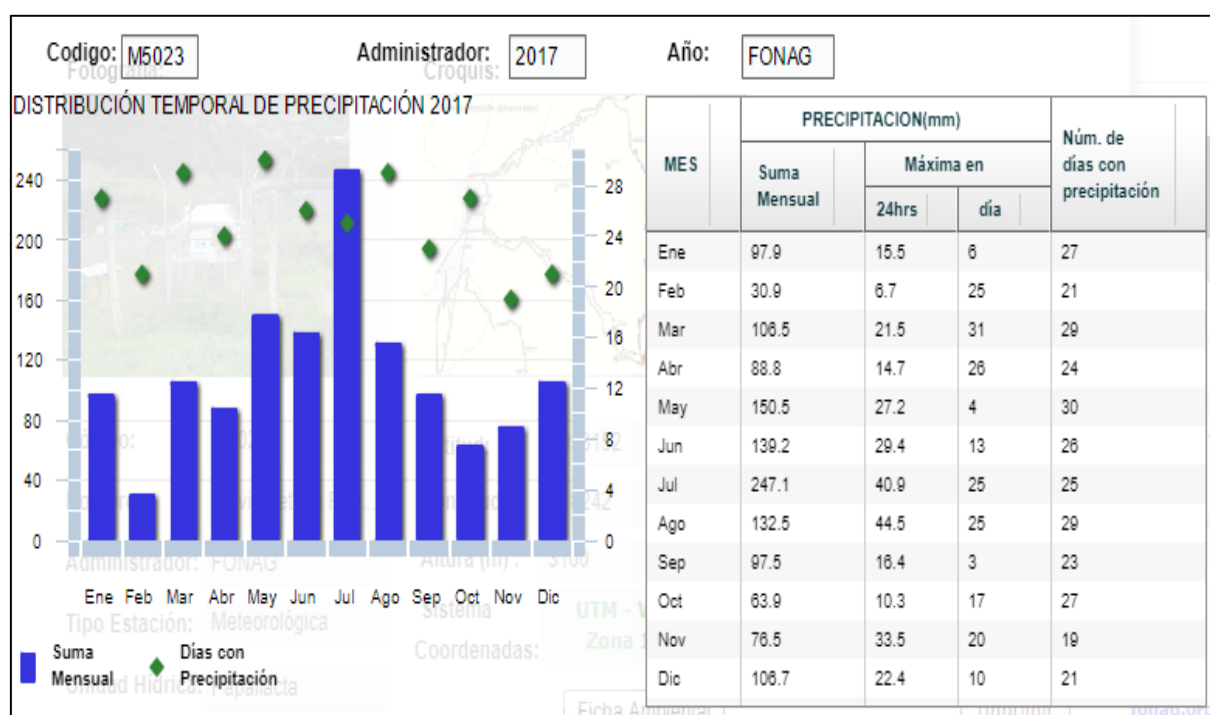
## Año 2015



## Año 2016



Año 2017



Series para completar datos estación Cuyuja M436

Año 2009

M422	125.8	97.8	57.4	38.5	36.9	9.6	1.6	0.4	0.3	8.0	29.0	81.8	487.1
M424	88.3	58.1	70.4	62.5	53.4	80.7	55.7	23.3	10.7	4.7	23.5	23.0	554.3
M426	85.4	40.5	115.6	162.8	63.4	53.7	13.4	8.5	24.7	41.0	72.3	62.8	744.1
M427	195.8	74.7	107.8	142.0	117.8	97.2	25.7	9.5	11.2	36.1	81.0	99.5	998.3
M429	330.7	258.4	108.1	200.5	166.8	188.1	180.2	36.7	20.7		113.4	80.2	
M431	124.1	60.9	68.4	158.0	100.2	125.6	146.5	141.0	76.2	88.7	33.5	65.9	1189.0
M432	182.9	125.7	136.4	160.2	52.7	59.3	76.9	72.8	39.5	107.4	77.2	77.5	1168.5
M433	645.2	423.1	225.9	157.9	152.1	12.5	0.0	0.0	0.0	43.6	48.2	76.6	1785.1
M434	358.6	526.0	408.9	118.5	161.5	5.4	5.7	12.4		11.9	12.4	115.2	
M435	316.6	345.0	349.6	155.0	52.8	21.3	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	110.7	1354.7
M436	199.1	116.1	59.1	182.9	159.9	176.1	154.1	151.4	78.0	99.8	91.0	85.7	1553.2

Año 2011

M0422	82.6	83.2	50.8	111.0	9.5	26.8	5.1	0.0	10.1	4.7	29.6	41.6	454.8
M0424	18.2	25.3	68.1	83.4	67.4	115.5	101.6	62.3	91.4	5.7	44.8	68.5	752.2
M0426	47.7	219.1	122.6	213.6	61.9	61.2	73.7	22.2	53.4	69.6	153.5	246.9	1345.4
M0427	66.2	145.3	60.1	269.0	87.4	56.5	71.2	32.5	95.2	66.2	148.9	155.6	1254.1
M0429	203.0	380.4	89.3	306.2	147.3	138.5	179.7	52.3	140.1	84.8	191.3	315.2	2228.1
M0431	117.2	54.9	106.1	191.8	173.7	120.6	247.9	112.1	152.9	64.7	124.3	141.7	1607.9
M0432	80.1	156.5	71.2	201.8	84.2	109.7	219.2	34.7	148.4	37.3	131.8	160.6	1435.5
M0433	86.9	114.6	49.6				2.8	0.0		2.2	34.9	45.2	
M0434	47.1	199.3	89.0	387.0	22.7	34.7	23.6	1.5	3.3	12.0	22.7	36.4	879.3
M0436	82.5	111.9	79.7	160.7	149.5	216.7	192.9	135.5	101.9	71.5	88.5	231.0	1622.3

Año 2012

M0427	257.1	214.2	132.0	140.4	66.4		43.6	12.2	74.0	135.8	91.4	96.4	
M0429	242.9	249.5	272.0	79.6	97.1	146.1	75.8	40.1	74.6	117.8	177.2	72.6	1645.3
M0431	91.9	114.6	100.0	97.3	139.4	146.5	120.7	109.4	43.9	65.0	33.2	78.7	1140.6
M0432	217.9	140.7	153.5	104.3	119.0	110.6	81.9	52.0	45.3	79.1	94.8	91.4	1290.5
M0433	710.5	373.1	300.9	235.1		0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	227.4	104.0	
M0434	211.1	751.8	581.2	248.0	75.4	5.2	0.2	0.0	5.0	15.8	45.7	12.0	1951.4
M0435	392.6	805.6	518.1	383.1	62.0	22.6	0.0	0.0	0.0	0.0	30.3	42.4	2256.7
M0436	131.4	165.9	178.3	82.7	138.9	161.6	167.0	146.4	49.2	81.4	81.4	77.6	1461.8

Anexo 3. Grupos Hidrogeológicos CSC.

Código	Uso de suelo de CLC-2000	Pendiente	A	B	C	D
	<b>Descripción</b>	<b>Grupo</b>				
	Aluviones y Coluviones actuales	A				
	Arenas y margas	B				
	Areniscas rojas, filitas, cuarcitas y pizarras	C				
	Basaltos	D				
	Calizas recristalizadas cremas	B				
	Calizas tableadas azules	B				
	Coluvial	A				
	Conos de deyección	A				
	Cuarcitas blancas, micaesquistos plateados y gneises albíticos	B				
	Cuarcitas micaceas	D				
	Diabasas	D				
	Dolomías negras y calizas	B				
	Filitas, cuarcitas y calcoesquistos	C				
	Glads. Limos negros y rojos y cantos encostrados	C				
	Indiferenciado	C*				
	Limos y arcillas rojas con episodios de caliche	C				
	Margas arenosas y margas	C				
	Margas blancas	D				
	Margas grises	D				
	Margas y areniscas	B				
	Marmoles calizos y dolomíticos	C				
	Mármoles fajeados y mármoles blancos y crema	C				
	Micacitas con granates	C				
	Micaesquistos y cuarcitas	C				
	Pizarras micaceas y micacitas	D				
	Terrazas	B				
	Yesos	C				

Anexo4. Número de curva Corine Land Cover

111 00	Tejido urbano continuo		9 8	9 8	9 8	9 8
112 00	Tejido urbano discontinuo		6 8	7 8	8 6	8 9
112 00	Urbanizaciones		6 8	7 8	8 6	8 9
112 10	Estructura urbana abierta		6 8	7 8	8 6	8 9
112 20	Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas		6 8	7 8	8 6	8 9
121 00	Zonas industriales y comerciales		8 9	9 3	9 4	9 4
121 00	Granjas agrícolas		6 8	7 8	8 6	8 9
121 10	Zonas industriales		8 1	8 8	9 1	9 3
121 20	Grandes superficies de equipamientos y servicios		8 9	9 3	9 4	9 4
122 00	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados		9 8	9 8	9 8	9 8
122 10	Autopistas, autovías y terrenos asociados		9 8	9 8	9 8	9 8
122 20	Complejos ferroviarios		8 1	8 8	9 1	9 3
123 00	Zonas portuarias		9 8	9 8	9 8	9 8
124 00	Aeropuertos		6 8	7 8	8 6	8 9
131 00	Zonas de extracción minera		7 6	8 5	8 9	9 1
132 00	Escombreras y vertederos		7 2	8 2	8 6	8 9
133 00	Zonas de construcción		6 8	7 8	8 6	8 9
141 00	Zonas verdes urbanas		4 9	6 9	7 8	8 4
142 00	Instalaciones deportivas y recreativas		3 9	6 1	7 4	8 0
142 10	Campos de golf		3 9	6 1	7 4	8 0
142 20	Resto de instalaciones deportivas y recreativas		4 9	6 9	7 8	8 4
211 00	Tierras de labor en secano (cereales) R	S3	6 4	7 5	8 4	8 6

211	Tierras de labor en secano (cereales) R/N	S3	6	7	8	8
Anexo 4. Tabla de valores de número de curva en función del código Corine Land Cover 2000						
211 00	Tierras de labor en secano (cereales) R/N	<3	0	1	8	1
211 00	Tierras de labor en secano (viveros)		1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0
211 00	Tierras de labor en secano (hortalizas) R	S3	6 9	8 0	8 6	8 9
211 00	Tierras de labor en secano (hortalizas) N	S3	6 7	7 6	8 2	8 6
211 00	Tierras de labor en secano (hortalizas) R/N	<3	6 4	7 3	7 8	8 2
211 00	Tierras abandonadas	S3	7 6	8 4	8 8	9 1
211 00	Tierras abandonadas	<3	7 2	7 8	8 2	8 6
212 00	Terrenos regados permanentemente R	S3	5 8	7 2	8 1	8 5
212 00	Terrenos regados permanentemente N	S3	5 5	6 9	7 8	8 2
212 00	Terrenos regados permanentemente R/N	<3	5 2	6 7	7 6	8 0
212 10	Cultivos herbáceos en regadío R	S3	5 8	7 2	8 1	8 5
212 10	Cultivos herbáceos en regadío N	S3	5 5	6 9	7 8	8 2
212 10	Cultivos herbáceos en regadío R/N	<3	5 2	6 7	7 6	8 0
212 20	Otras zonas de irrigación		1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0
213 00	Arrozales		5 2	6 7	7 6	8 0
221 00	Viñedos	S3	4 5	6 6	7 7	8 4
221 00	Viñedos	<3	4 0	6 0	7 3	7 8
221 10	Viñedos en secano	S3	4 5	6 6	7 7	8 4
221 10	Viñedos en secano	<3	4 0	6 0	7 3	7 8
221 20	Viñedos en regadío	S3	4 5	6 6	7 7	8 4

221 20	Viñedos en regadío	<3	4 0	6 0	7 3	7 8
222	Frutales y plantaciones de bayas	S3	3	6	7	7
00 Códig	<b>Uso de suelo de CLC-2000</b>	<b>Pendientes</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
222 00	Frutales y plantaciones de bayas	<3 (%)	3 5	5 5	7 0	7 7
222 00	Frutales en secano	S3	4 0	6 2	7 2	8 9
222 00	Pastizales naturales	S3	4 0	6 0	7 8	8 3
222 00	Pastizales naturales1	S3	3 0	6 0	7 3	7 8
222 00	Prados alpinos	S3	3 5	6 1	7 4	8 0
222 00	Prados alpinos1	S3	3 0	6 0	7 0	7 8
222 00	Formaciones herbáceas de llanuras aluviales inundadas y llanuras coster	S3	3 5	6 1	7 4	8 0
222 00	Formaciones herbáceas de llanuras aluviales inundadas y llanuras coster	S3	3 0	6 0	7 0	7 8
222 44	Pastizales supraforestales templado-oceánicos, pirenaicos y orocantábric	S3	3 5	6 1	7 4	8 0
222 44	Pastizales supraforestales templado-oceánicos, pirenaicos y orocantábric	S3	3 0	6 0	7 0	7 8
222 42	Pastizales supraforestales mediterráneos	S3	3 0	6 5	8 0	8 9
222 42	Pastizales supraforestales mediterráneos1	S3	4 5	6 0	8 1	8 8
321 21	Otros pastizales templado oceánicos	S3	4 9	6 9	7 8	8 5
321 21	Otros pastizales templado oceánicos1	<3	3 9	5 9	7 5	8 4
321 22	Otros pastizales mediterráneos	S3	6 8	7 8	8 6	8 9
321 22	Otros pastizales mediterráneos1	<3	4 7	6 7	8 1	8 8
322 00	Landas y matorrales mesófilas		4 0	6 0	7 0	7 6
322 10	Landas y matorrales en climas húmedos. Vegetación mesófila		4 0	6 0	7 0	7 6
322 20	Fayal-breza macaronésico		4 6	6 8	7 8	8 4
323	Vegetación esclerófila		4	6	7	8





00			6	8	8	4
323 11	Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso		4 0	6 0	7 0	7 6
323 12	Matorrales sub-arbustivos o arbustivos muy poco densos		4 6	6 8	7 8	8 4
323 20	Matorrales xerófilos macaronésicos		5 6	7 5	8 6	9 1
324 00	Matorral boscoso de transición		4 0	6 0	7 0	7 6
324 00	Claras de bosques		5 6	7 5	8 6	9 1
324 00	Zonas empantanadas fijas o en transición		4 6	6 8	7 8	8 4
324 10	Matorral boscoso de frondosas		4 0	6 0	7 0	7 6
324 20	Matorral boscoso de coníferas		4 0	6 0	7 0	7 6
324 30	Matorral boscoso de bosque mixto		4 0	6 0	7 0	7 6
331 10	Playas y dunas		2 5	2 5	2 5	2 5
331 20	Ramblas con poca o sin vegetación		7 7	8 6	8 9	9 3
332 00	Roquedo		9 6	9 6	9 6	9 6
332 10	Rocas desnudas con fuerte pendiente		9 6	9 6	9 6	9 6
332 20	Afloramientos rocosos y canchales	S3	9 6	9 6	9 6	9 6
332 20	Afloramientos rocosos y canchales	<3	9 3	9 3	9 3	9 3
332 20	Afloramientos rocosos y canchales	S3	9 4	9 4	9 4	9 4
332 20	Afloramientos rocosos y canchales	<3	9 1	9 1	9 1	9 1
332 30	Coladas lávicas cuaternarias	S3	9 4	9 4	9 4	9 4
332 30	Coladas lávicas cuaternarias	<3	9 1	9 1	9 1	9 1
333 00	Espacios con vegetación escasa	S3	6 8	7 8	8 6	8 9
333 00	Espacios con vegetación escasa	<3	4 7	6 7	8 1	8 8




333 10	Xerosestepa subdesértica	S3	6 8	7 8	8 6	8 9
333 10	Xerosestepa subdesértica	<3	4 7	6 7	8 1	8 8
333 20	Cárcavas y/o zonas en proceso de erosión		7 7	8 6	8 9	9 3
333 30	Espacios orófilos altitudinales con vegetación escasa	S3	6 8	7 8	8 6	8 9
333 30	Espacios orófilos altitudinales con vegetación escasa	<3	4 7	6 7	8 1	8 8
334 00	Zonas quemadas		7 7	8 6	8 9	9 3
335 00	Glaciares y nieves permanentes		1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0
411 00	Humedales y zonas pantanosas		9 6	9 6	9 6	9 6
412 00	Turberas y prados turbosos		1 7	3 4	6 7	7 6
421 00	Marismas		9 6	9 6	9 6	9 6
422 00	Salinas		2 5	2 5	2 5	2 5
423 00	Zonas llanas intermareales		1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0
511 00	Cursos de agua		1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0
511 10	Ríos y cauces naturales		1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0
511 20	Canales artificiales		1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0
511 20	Embalses		1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0
511 20	Embalses (almacenamiento de agua)		5	5	5	5

Códi go	Uso de suelo de CLC-2000	Pendien te (%)	A	B	C	D
------------	--------------------------	----------------------	---	---	---	---



512 10	Lagos y lagunas		1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0
512 10	Lagos y lagunas (endorreicos)		5	5	5	5
521 00	Lagunas costeras		1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0
522 00	Estuarios		1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0
523 00	Mares y océanos		1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0



#### Anexo 5. Puntos de control en campo



Punto	Nombre_referencia	Coordenada UTM
1	<p>Parada de buses</p> 	<p>824.739,692 9.953.541,52 0</p>
2	<p>Restaurante</p> 	<p>818.253,000 9.958.290,00 0</p>

3	<p>Petroecuador</p> 	<p>821.865,000 9.958.967,00 0</p>
4	<p>Laguna Papallacta</p> 	<p>816.136,000 9.958.046,00 0</p>
5	<p>Bosque_uno</p> 	<p>820.314,000 9.958.715,00 0</p>
6	<p>Flujo_Antisanilla</p>	<p>816.557,000</p>






		9.957.397,00 0
7	<p>Agropecuario_uno</p> 	817.478,000 9.958.021,00 0
8	<p>Agropecuario_dos</p>	819.633,000 9.957.964,00 0

		
9	<p>Cuyuja</p> 	<p>831.069,000 9.954.148,00 0</p>
10	<p>Páramo_uno</p>	<p>812.526,516 9.960.915,51 3</p>

		
11	<p>Páramo_dos</p> 	<p>811.503,000 9.962.826,00 0</p>
12	Bosque_dos	<p>825.621,768 9.958.935,51 9</p>



		
13	<p>Bosque_tres</p> 	<p>814.932,073 9.958.038,48 1</p>
14	<p>Agropecuario_tres</p> 	<p>828.686,646 9.955.123,11 0</p>



15	<p>Parada Papallacta</p> 	<p>818.445,469 9.958.337,49 4</p>
----	---	---

#### Anexo 6. Clasificación de Landdis 1977

Valores de calidad según índice Kappa

Valor de Kappa	Calidad
$\leq 0$	Pésima
0.00 – 0.20	Mala
0.20 – 0.40	Razonable
0.40 – 0.60	Buena
0.60 – 0.80	Muy Buena
0.80 – 1.00	Excelente

Fuente: Landis y Koch (1977)